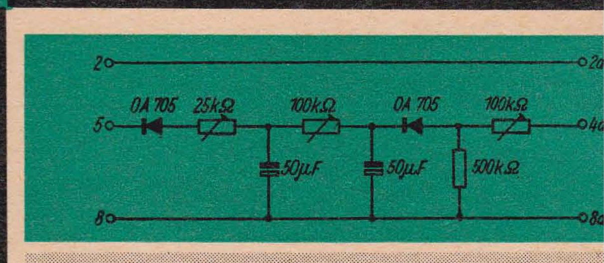
54

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



Hans-Joachim Fischer

Kybernetische Experimente für den Amateur

Der praktische Funkamateur · Band 54

Kybernetische Experimente für den Amateur

HANS-JOACHIM FISCHER

Kybernetische Experimente für den Amateur



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Redaktionsschluß: 20. April 1965

1.–10. Tausend

Deutscher Militärverlag · Berlin 1965 · Lizenz-Nr. 5

Lektor: Wolfgang Stammler

Zeichnungen: Erich Böhm · Titelfoto: Dieter Demme

Vorauskorrektor: Hans Braitinger · Korrektor: Evelyn Lemke

Hersteller: Günter Hennersdorf

Gesamtherstellung: I/16/01 Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam, A 757

1,90

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Die vorliegende Broschüre stellt eine Auswahl aus den vielen Schaltungen und Anordnungen dar, die zur Veranschaulichung kybernetischer Gedankengänge dienen können. Dabei beschränkt sich die Beschreibung nicht nur auf das besonders populäre Gebiet der selbstfahrenden kybernetischen Modelle – obwohl die „Schildkröte" das attraktivste kybernetische Modell ist –, sondern es werden auch elementare Regelungen, elektronische Spiele und Lernmaschinen erwähnt. Die Beschreibungen sind bewußt einfach gehalten, damit ein breiter Kreis von Lesern durch eigenes Basteln und Experimentieren Erfahrungen auf diesem Gebiet sammeln kann. Der Schwerpunkt der Basteltätigkeit hat sich ja in letzter Zeit vom Rundfunkempfänger auf die elektronischen Geräte verlagert. Die Grundlagen der Kybernetik und ihr Zusammenhang mit der Rechentechnik sind in dem sachlich zu diesem gehörenden Band 53 dieser Reihe, *Elektronisches Rechnen für den Amateur* von C. Goedecke, dargestellt, so daß hier darauf verzichtet werden kann. Das Heft soll sowohl dem individuell bastelnden Amateur als auch den Kybernetikzirkeln der GST, der FDJ, der Pionierorganisation „Ernst Thälmann" und den schulischen Arbeitsgemeinschaften als Einführung in dieses neue Gebiet dienen. Durch die eigene Beschäftigung wächst das Verständnis sowie das Interesse, und oft ist ein späterer technischer Beruf das Ergebnis.

An dieser Stelle sei besonders dem Kameraden Reinhard Oettel (DM 2 ATE) für die Unterstützung und für die zur Verfügung gestellten Materialien gedankt.

Berlin, März 1965 *Hans-Joachim Fischer*

1. Die Kybernetik als Querschnittswissenschaft

Der weitere technische Fortschritt der Menschheit ist ohne Automatisierung der Produktionsprozesse in großem Maßstab nicht denkbar. Bei der wissenschaftlichen Organisation der Produktion und ihrer komplexen Automatisierung spielt die Kybernetik eine entscheidende Rolle.

Die Kybernetik ist die Wissenschaft von den allgemeinen Gesetzen der Steuerung und Regelung (kybernetikos – Steuermannskunst, griech.). Eine ihrer Grundideen ist das Betrachten der Regelvorgänge im lebenden Organismus und in der Technik nach gleichen Gesichtspunkten. Die Kybernetik beleuchtet nur die eine Seite der Prozesse in der uns umgebenden Welt: Fragen der Erzeugung, Umformung und Verarbeitung von Steuersignalen für eine zielgerichtete Wirkung. Mit Fragen der Energieverteilung, der Leistung, der Kosten oder der Abmessungen irgendwelcher Regelungssysteme beschäftigt sich die Kybernetik nicht, das ist Sache der jeweiligen Spezialwissenschaft. Die „Technische Kybernetik" betrachtet – wie der Name sagt – nur technische Systeme vom Standpunkt der Steuerungs- und Regelungsgesetzmäßigkeiten. Der Inhalt der technischen Kybernetik ist:

— die Informationstheorie (Gesetzmäßigkeiten der Signalübertragung, Eigenschaften der Nachrichtenkanäle, Modulationsarten usw.),
— Theorie der logischen Elemente und der Rechenmaschinen,
— Systemtheorie der automatischen Regelung und der Informationsverarbeitung.

Der Begründer der Kybernetik ist der amerikanische Wissenschaftler Norbert Wiener, spätere grundlegende Arbeiten stammen von dem Chinesen Zan Su-sen. Die Kybernetik hat sich in den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg rasch entwickelt, und sowohl die SU als auch die USA haben ihre

Entwicklung mitbestimmt. Ohne Kybernetik wäre ein Weltraumflug undenkbar. Es gibt eine Reihe guter einführender Fachbücher, so daß die Grundzüge der Kybernetik nicht weiter erläutert werden müssen. Es ist vielmehr Hauptaufgabe der vorliegenden Broschüre, die praktische Beschäftigung mit speziellen Problemen der Regel- und Steuertechnik und der Kybernetik anzuregen. Die Erfahrung zeigt, daß man am besten begreift, wenn man mit den Dingen selbst praktisch umgeht. Unsere Amateure werden dann dazu beitragen, diese ausgewählten Beispiele zu ergänzen.

2. Die frei schwebende Kugel – Modell für einen Regelvorgang

Eine aus Eisenblech hergestellte Kugel von etwa 10 cm Durchmesser soll frei schwebend „aufgehängt" werden. Das geschieht durch Verkopplung zweier Kreise: eines magnetischen Kreises, der die Kraft zum Anziehen der Kugel liefert, und eines optischen Kreises, der die Anziehung so steuert, daß die Kugel nicht am Magneten klebenbleibt, sondern frei davor schwebt. Ein einfaches kybernetisches Modell dieses Regelkreises zeigt Bild 2.1. Im folgenden ist der Funktionsablauf erklärt. Über ein Netzanschlußgerät werden die elektrischen Kreise mit Strom versorgt. Dicht vor dem Elektromagneten, der als Topfmagnet mit einem Durchmesser von etwa 5 cm und einer Wicklung für 24 V/0,3 A aufgebaut ist, befindet sich eine „Lichtschranke", bestehend aus Glühlampe und Fotoelement oder Fotowiderstand. Durch die Anordnung der beiden optischen Elemente (Geber und Empfänger) in je einem Lichtschutzrohr von etwa 10 mm Durchmesser wird ein Lichtstrahl dieses Durchmessers ausgeblendet. Zieht nun der Magnet die Kugel an, so schaltet sie beim Näherkommen den Lichtstrahl ab. In diesem Moment verringert der Transistorverstärker den

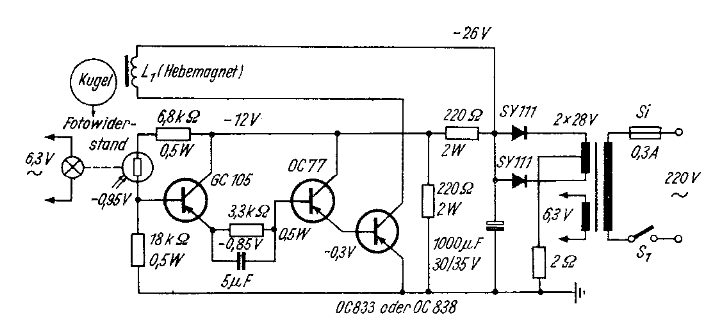


Bild 2.1. Modell eines Regelkreises: Die frei schwebende Kugel

durch den Elektromagneten fließenden Strom. Dadurch wird die Anziehung für die Eisenkugel geringer, und auf Grund ihres Eigengewichts sinkt sie wieder nach unten. In dem Moment, wo sie den Lichtstrahl freigibt, vergrößert der Verstärker den Magnetstrom, und die Kugel wird wieder angezogen. Der Vorgang pendelt sich auf einen konstanten Wert ein – die Kugel schwebt frei vor den Polen des Magneten. Der Transistorverstärker kann bei diesem Regelmodell als Linearverstärker oder als Schaltverstärker benutzt werden. Es genügt für das Modell durchaus, wenn der Regelkreis nur zwei Zustände kennt: Licht nicht unterbrochen – voller Strom auf den Magneten gegeben; Licht unterbrochen – Magnet ausgeschaltet. Man nennt eine solche Regelung eine Zweipunktregelung. Alle Regler für Lichtmaschinen an Fahrzeugen funktionieren nach diesem Prinzip. Allerdings bleibt bei dieser Art der Regelung immer eine kleine Pendelung um den Einstellwert bestehen. Die Linearregelung hat demgegenüber stetige Übergänge der Regelgröße. Sie stellt sich auf einen stabilen Wert ohne Pendeln ein – vorausgesetzt, daß der ganze Regelkreis elektrisch richtig dimensioniert ist.
Man erkennt aus diesem Modell die Grundbausteine eines Regelkreises: die Kraftquelle, den Sollwertgeber, den Meßwertumformer und das zu regelnde Objekt. Die Lage der optischen Lichtschranke vor dem Magneten muß experimentell bestimmt werden; wird sie zu weit weg angeordnet, so reicht die Kraft des Magneten nicht mehr zum Anziehen aus; ordnet man sie zu nahe am Pol an, so kann die Kugel beim Überschwingen bereits am Magneten klebenbleiben. Der Leistungstransistor des Regelverstärkers muß den geforderten Magnetstrom für den Elektromagneten liefern können (Leistungstransistor OC 838 geeignet). Zum Schutz des Transistors schaltet man über die Wicklung des Elektromagneten eine Schutzdiode (OY 114). Es ist in diesem Zusammenhang interessant, daß man diese Art der frei schwebenden magnetischen Aufhängung bereits vor etwa dreißig Jahren bei einer Schwebebahn vorgeschlagen und patentiert hat. Die Fortbewegung der so aufgehängten

Schwebebahngondeln sollte dann durch eine Reihe von Spulen längs des Weges erfolgen, die immer so eingeschaltet werden sollten, daß die Gondel gerade angezogen wurde. Um die Gondel zu bremsen, erhielt eine Spule dann einen höheren Dauerstrom und hielt die Gondel fest. Wie wäre es mit einem Modell einer solchen Schwebebahn? Den Bastelfreunden bleibt hier viel Spielraum zu eigener Beschäftigung.

3. Ein kybernetisches Spiel für zwei Personen

Mehr in Richtung der Digitaltechnik und der Spieltheorie geht ein elektrisches Spiel, das nachfolgend beschrieben werden soll. Es ist mit wenig Aufwand aufzubauen und macht viel Spaß. Bild 3.1 zeigt den elektrischen Aufbau. Grundlage des Spiels ist ein schaltbares Widerstandsnetzwerk. Es sind 13 Schalter mit je drei Stellungen eingebaut. Zwei Spieler betätigen abwechselnd die Schalter, und zwar lautet die Spielregel so: Nachdem zuerst alle Schalter in die neutrale Stellung gebracht worden sind, wird mit dem Regelwiderstand das Anzeigeinstrument auf Vollausschlag geregelt. Der eine Spieler hat die Aufgabe, durch seine Schalterstellungswahl das Instrument auf minimale Anzeige zu bringen, der andere entsprechend auf maximale. Ein einmal geschalteter Schalter darf nicht nochmals berührt werden.

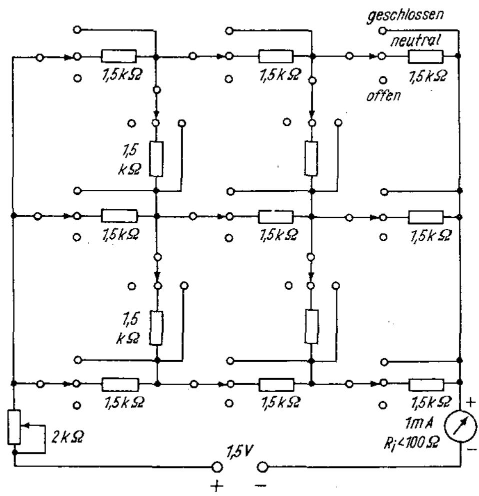


Bild 3.1. Frontplatte des kybernetischen Spieles

Gewinner ist derjenige, der mit dem Zeigerausschlag zuerst die „Eins" oder die „Null" erreicht. Das Spiel wurde von dem bekannten Kybernetiker Claude Shannon entworfen, es ist ein Spiel mit einem einfachen festen Algorithmus. Der jeweilige Spieler kann sich für die „offene" oder „geschlossene" Strategie entscheiden, je nachdem ob er immer, wenn er am Zuge ist, den jeweiligen Schalter offenläßt oder schließt. In erweiterter Form bilden solche Spiele ein wichtiges Hilfsmittel für die taktische Ausbildung in unserer Volksarmee. Es werden in allen Armeen der Welt sogenannte Simulatoren, d. h. elektronische Nachbildungen gebaut, Geräte, die es gestatten, militärische Operationen naturgetreu nachzubilden. Sie lösen damit den früher

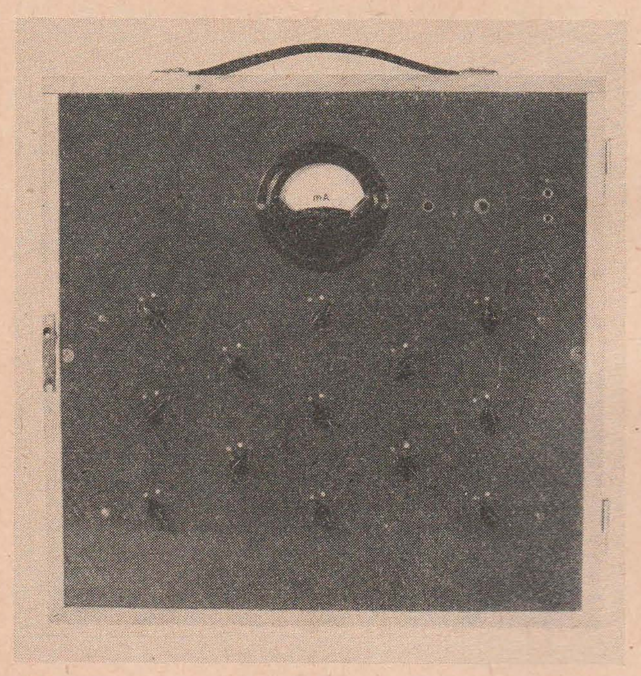


Bild 3.2. Frontplatte des kybernetischen Spieles

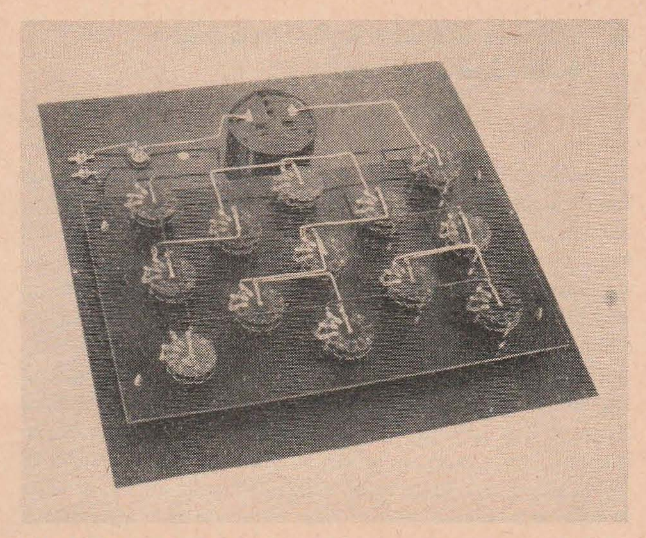


Bild 3.3. Blick auf die Verdrahtung

üblichen Sandkasten ab und gestatten das Sammeln von Erfahrungen ohne kostspielige Manöver. Die Flugausbildung auf Strahljägern wäre heute ohne Simulatoren oder „Flugtrainer" gar nicht möglich. Allerdings ist unser kleines Spiel noch weit von solchen komplizierten Maschinen entfernt.



4. Die sowjetische kybernetische Schildkröte „Tortilla 1"

Gegenüber diesen Spielzeugen sind die „kybernetischen Tiere" komplizierter. Sie bilden seit etwa zehn Jahren das interessante Arbeitsfeld sowohl der Amateure als auch der Professionellen. Das erste in der Weltliteratur bekannt gewordene kybernetische Modell eines Tieres war die „Maus im Labyrinth" – ebenfalls von Claude Shannon entworfen. Diese Maus suchte sich in einem Blechlabyrinth ihren Weg. Sie stieß fast in jeder Kammer an und drehte sich suchend um sich selbst, bis sie den Ausgang entdeckt hatte. Nach längerer Zeit gelangte sie an das andere Ende des Blechlabyrinths. Wenn man das Modell aber zum zweitenmal an den Anfang des Labyrinths setzte, so geschah etwas Seltsames: Das kleine „Tier" lief, ohne einmal anzustoßen, rasch durch das Labyrinth. Wie war das möglich? Shannon hatte ein Gedächtnis eingebaut, in dem die Informationen über den Weg gespeichert wurden: die Maus konnte „lernen". Durch Vergleich des zurückgelegten Weges mit dem gespeicherten gelangte sie beim zweitenmal, ohne anzustoßen, durch das Labyrinth. Zur Nachbildung einer animalischen Funktion benötigte Shannon allerdings einen hohen elektrischen Aufwand. Die Maus wurde durch ein Magnetsystem (unter der Bodenplatte des Labyrinths) mit x-y-Steuerung geführt. Der Gedächtnisspeicher bestand aus einem Magnetbandsystem, und die übrige Elektronik war auch recht kompliziert – also mehr eine professionelle Sache als ein kybernetisches Spielzeug zum Nachbauen. Das wurde aber anders, als die verschiedenen kybernetischen Schildkröten das Licht der Welt erblickten. Bevor nun die zwei sowjetischen Beispiele und die bekannte DDR-Transistorschildkröte beschrieben werden, noch einige geschichtliche Bemerkungen. Bereits im Jahre 1955 hatte Walter Grey die beiden Schildkröten „Elmer" und „Elsie" entworfen, die einige Funktionen der echten Schildkröten nachbildeten. Es waren

kleine dreirädrige Fahrzeuge mit zwei Servomotoren (Vorwärtsgang und Drehung), elektronischen Relais, elektronischen Bauteilen und einem Akkumulator. War der Akkumulator gut geladen, so zeigte sich das Modell „gesättigt" und es begab sich in einen dunklen Winkel im Zimmer. Wenn sich der Akkumulator entladen hatte, so suchte das Modell Futter, es lief zu einem Ladeplatz für den Akkumulator. In diesem Falle war es eine helleuchtende Glühlampe, die über Selenfotoelemente die Ladespannung für den Akku abgab. Die Schildkröte blieb so lange vor der Lampe stehen, bis sie gesättigt, d. h. bis ihr Akkumulator geladen war. Dann lief sie wieder in die dunkle Ecke zurück. Das dritte Schildkrötenmodell von Grey, „Kora" genannt, hatte zusätzlich noch ein akustisches Organ. Beim Ertönen eines Pfiffes blieb die Schildkröte stehen und lief erst nach einer Pause weiter. Durch die Kombination des akustischen Organs mit der „Futtersuche" konnte der bedingte Reflex (nach Pawlow) nachgebildet werden. Wenn die Schildkröte an ein Hindernis anstieß, wurde das Programm geändert, und das Modell fuhr zurück, drehte sich und suchte dann weiter die Lichtquelle. Der Wirkungsablauf (Algorithmus) des Schildkrötenmodells ist in der umstehenden Tabelle dargestellt.

In der Tabelle sind die Signale nach der Stärke ihrer Wirkung aufgeführt. Die Signale des Kontaktgebers sind gegenüber denen des Fotoelements übergeordnet. Das Signal des Mikrofons ist allen anderen Signalen übergeordnet. Aus der Tabelle wird die prinzipielle Wirkungsweise des Modells klar, die Programme 1 und 2 sind die Hauptprogramme, 3 bis 5 dagegen Störprogramme. Die Programme 1 und 2 ermöglichen verschiedene Varianten (Größe des Drehwinkels und Länge der Geradeausbewegung veränderlich); die beste Variante ist diejenige, bei der die Schildkröte die Lichtquelle schnell findet und auf kürzestem Wege zu ihr läuft.

Außer von Grey wurden auch Modelle von dem österreichischen Ing. Zemanek und dem Deutschen Eicher gebaut. In der Sowjetunion sind mehrere kybernetische Schildkröten

Lfd. Nr.	Signale	Wirkungsprogramm des Modells „Kora"	
Programm		Modell „hungrig" (Akkumulator entladen)	Modell „gesättigt" (Akkumulator geladen)
1	Kein Signal (Modell „sucht" die Lichtquelle)	Vorwärtsbewegung – Drehung – erneute Vorwärtsbewegung – Drehung usf.	Rückwärtsbewegung – Drehung – erneute Rückwärtsbewegung – Drehung usf.
2	Signal vom Fotoelement (Modell „erblickt" die Lichtquelle)	Vorwärtsbewegung – Vorwärtsbewegung – erneute Vorwärtsbewegung usf.	Rückwärtsbewegung – erneute Rückwärtsbewegung usf.
3	Signal vom Berührungskontakt (Modell stößt an Hindernis)	Rückwärtsgang – Drehung – Vorwärtsgang und dann weiter nach 1 oder 2	Vorwärtsgang – Drehung – Rückwärtsgang und dann weiter nach Programm 1 oder 2
4	Signal vom Mikrofon (erster Pfiff)	Alle Kreise des Modells werden für 10 s abgeschaltet	Alle Kreise des Modells werden für 10 s abgeschaltet
5	Signale vom Mikrof. (5 Pfiffe in 10 s) Modell „horcht"	Steuerkreis des Mikrofons wird für 30 s abgeschaltet	Steuerkreis des Mikrofons wird für 30 s abgeschaltet

entwickelt und gebaut worden. Sowohl das Institut für Automatik und Telemechanik der Akademie der UdSSR als auch das Moskauer Ingenieur-Physikalische Institut haben solche Modelle entworfen.

Die Suche der Lichtquelle kann nach zwei Verfahren erfolgen:

— mit Hilfe einer pendelnd arbeitenden Extremalsuche nach dem hellsten Punkt des Horizonts mit einem Fotoelement;

— mittels einer nichtschwingenden Gegenkopplung mit zwei etwas im Winkel versetzt angeordneten Fotoelementen, die zwei benachbarte Punkte des Horizonts betrachten und den Helligkeitsunterschied auswerten.

In Bild 4.1 ist die Schaltung des sowjetischen Modells „Tortilla 1" für die Lichtquellensuche dargestellt. Das Modell verwendet das erstgenannte Suchverfahren. Es wird eine schrittweise Extremalregelung benutzt. Das Modell ist ver-

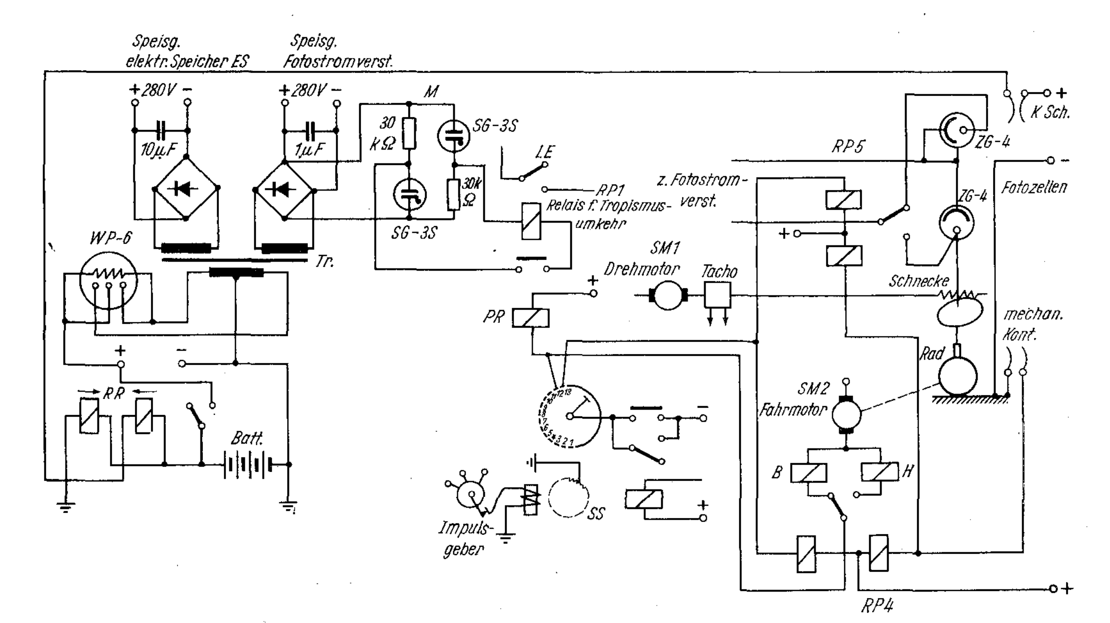


Bild 4.1.a Teilschaltung des Modells „Tortilla 1" (WP-6 = 6-V-Zerhacker)

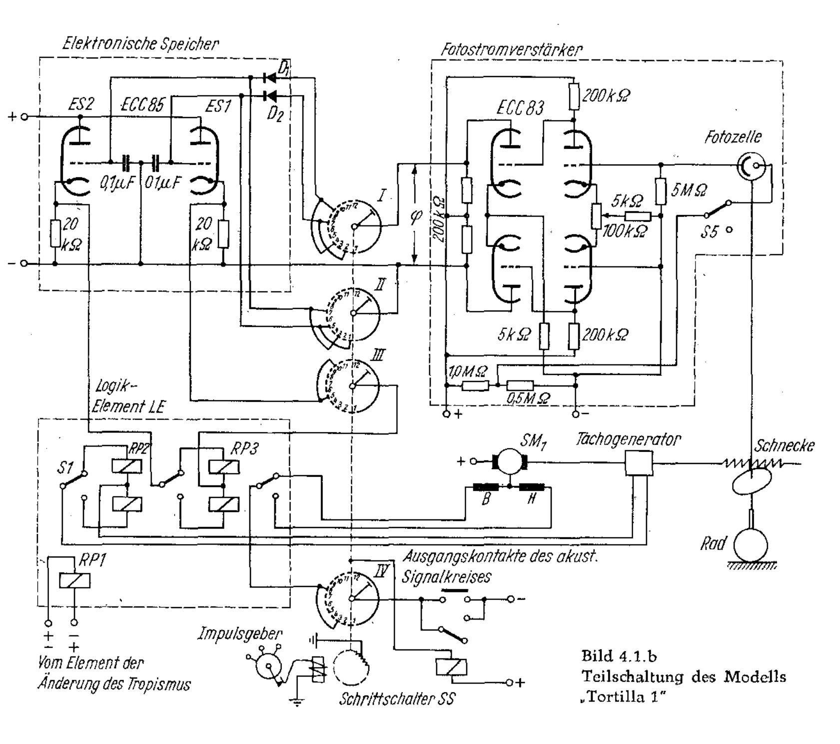


Bild 4.1.b
Teilschaltung des Modells „Tortilla 1"

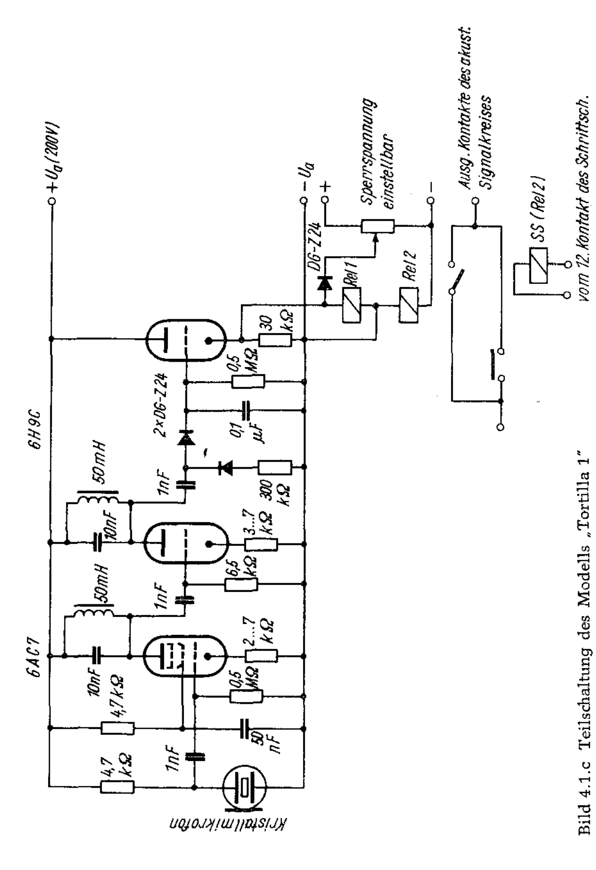


Bild 4.1.c Teilschaltung des Modells „Tortilla 1"

hältnismäßig groß, da Akkumulatoren und Röhrenschaltungen verwendet werden (das Modell wurde bereits 1958 gebaut). Hinsichtlich des Funktionsablaufs ist es aber modern. Die vom Fotozellenkopf erzeugte Spannung gelangt nach Verstärkung an einen Kontaktkranz eines Schrittschalters SS, der vier Kontaktkränze hat, Bild 4.1 b. Am 1. Kontakt des zweiten Feldes des Schrittschalters erfolgt die Löschung der vorherigen Aufzeichnung des elektronischen Speichers ES 1, am 2. Kontakt des ersten Feldes erfolgt die erste (neue) Aufzeichnung der Fotospannung. Der 3. Kontakt des zweiten Feldes bewirkt die Löschung der Speicherung des zweiten elektronischen Speichers ES 2, während der 3. Kontakt des vierten Feldes Spannung an den Servomotor SM 1 legt. Dieser dreht das Fotozellenteil um 7,5 Grad weiter. Danach erfolgt am 4. Kontakt des ersten Feldes die zweite Aufzeichnung der verstärkten Fotospannung an ES 2 und am 5. Kontakt des dritten Feldes der Vergleich der Spannungen von der ersten und der zweiten Aufzeichnung. Das Logik-Element LE schaltet den Servomotor in die Richtung um, die einer Drehbewegung der Fotozelle in die Richtung der extremalen (größten oder kleinsten) Beleuchtung entspricht. Dann fängt der Arbeitszyklus von neuem an. Die Kontakte 11 und 12 des vierten Feldes von SS dienen erstens zur Einschaltung des Servomotors SM 2 für die Vorwärtsbewegung des Modells und zweitens zur kurzzeitigen Schließung des Relaiskreises für die Umkehr des Tropismus sowie drittens zum Übergang vom Programm 3 der Tabelle zum Programm 1 oder 2, wenn das Modell an ein Hindernis stößt. Unter Tropismus versteht man eine Verhaltensweise von Organismen in Richtung auf eine Feldgröße oder eine Strahlungsquelle. (So zeigen z. B. Pflanzen sowohl Heliotropismus als auch Geotropismus.) Heliotropismus = Wachstum der Pflanze zur Sonne hin, geeignete Ausrichtung der Blätter. Geotropismus = Wachstum der Wurzel in Richtung der Schwerkraft nach unten ins Erdreich, bewirkt durch kleine Körner in der Zelle, die sich in Richtung der Schwerkraft an die Zellwand anlagern.

Bei diesem Modell muß der Lichttropismus in Abhängigkeit

vom Ladezustand des Akkumulators umgekehrt werden. Bei vollem Akku muß das Modell die Dunkelheit suchen, bei leerem die Helligkeit.
Weiterhin dienen die Kontakte 11 und 12 von Feld vier zur Übergabe von Impulsen an die schallempfindliche Schaltung des Modells. Die Messung des Ladezustandes der Batterie geschieht über die nichtlineare Brücke M auf der Sekundärseite des Zerhackers. Bei einer gegebenen Primärspannung (die man geeignet wählen muß) kehrt sich die Stromrichtung in der Brückendiagonale um, was zur Umschaltung der polarisierten Relais RP führt und die Umkehr des Tropismus bewirkt. Die polarisierten Relais RP 2 und RP 3 bilden im Logik-Element LE die Schaltung für Gleichwertigkeit.
Die Ladung des Akkumulators erfolgt über die Kontaktschiene KSch und den Relaisregler RR. Über den Zerhacker WP-6 wird die Akkugleichspannung in Wechselspannung umgeformt und hochtransformiert. Nach Gleichrichtung dient sie als Anodenspannung für den Fotostromverstärker und die Speicher. Der Kontaktbügel K arbeitet beim Anstoßen des Modells an ein Hindernis und ändert mit Hilfe von RP 4 das Programm vom Vorwärtsgang auf den Rückwärtsgang. In diesem Falle geht das Modell einen Schritt zurück und dreht sich dann einige Zeit bis zu einer Richtung, die senkrecht zur Richtung auf die Lichtquelle hin verläuft. Das wird durch Einschalten einer Hilfsfotozelle an Stelle der Hauptfotozelle erreicht, deren Richtung senkrecht zur Achse des Modells liegt. Dieser Zustand des Ausweichens dauert nur kurze Zeit. Wenn der bewegliche Kontakt des Schrittschalters SS wieder auf den 12. Kontakt von Feld vier trifft, dann wird das Grundprogramm des Modells wiederhergestellt. Die Impulsfolgefrequenz für das Betätigen des Schrittschalters bestimmt die Schnelligkeit der Reaktion des Modells. Die Bewegungsgeschwindigkeit des Modells ist dann ausreichend, wenn eine volle Umdrehung des Schrittschalters einer Zeit von 6 s entspricht. Als Impulsgeber kann man einen Motor mit Untersetzung und rotierender Kontaktwalze oder auch eine elektronische Zeitgeberschaltung benutzen.

Die akustische Schaltung des Modells (Bild 4.1 c) besteht aus dem piezoelektrischen Mikrofon, dem zweistufigen Resonanzverstärker für eine Frequenz von 9000 Hz (auf die Pfeife abgestimmt, die man benutzt) und dem Ausgangsrelais Rel 1, das bei Ertönen des Pfiffes die Servomotoren SM 1 und SM 2 abschaltet. Die Wartezeit des Modells wird durch die Zeitkonstante des Gleichrichterkreises R · C festgelegt. Wenn die Pfiffe selten folgen, dann entlädt sich C, und das Relais fällt nach einiger Zeit wieder ab, das Modell bewegt sich weiter fort. Kommen die Pfiffe häufiger, so steigt die Spannung an Rel 1 über einen bestimmten Wert, und Rel 2 überbrückt die Kontakte von Rel 1, so daß das Modell auf weitere Pfiffe nicht mehr reagiert. Die Blockierung wird wieder aufgelöst, wenn der 12. Kontakt des Schrittschalters überschritten ist und wenn sich der Kondensator bis dahin genügend entladen hat. Das Modell reagiert auf eine 25-W-Glühlampe aus 3 m Entfernung. Der verwendete Akkumulator ist eine Nickel-Kadmium-Batterie von 6 V und 10 Ah. Die Spannung des Tachogenerators beträgt 6 V. Bild 4.2 zeigt den konstruktiven Aufbau des Modells „Tortilla 2" (mit zwei versetzten Fotozellen). Beide Modelle sind auf Grund der verwendeten Bauteile recht groß, aber auch vielseitig einsetzbar. Es wäre eine lohnende Aufgabe für unsere Kybernetik-

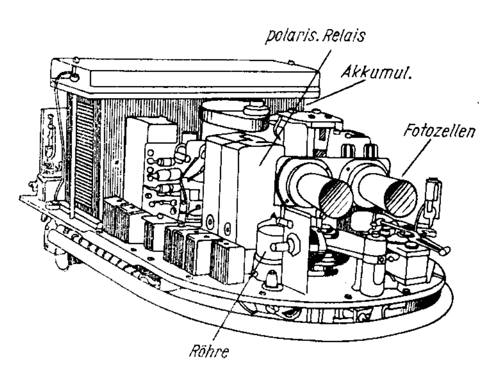


Bild 4.2. Konstruktiver Aufbau des kybernetischen Modells „Tortilla 2"

amateure, auf der Basis der hier beschriebenen Konzeption ein neues volltransistorisiertes Modell zu entwickeln. Ein weiteres sowjetisches kybernetisches Modell soll noch besprochen werden: die Schildkröte des Klubs junger Techniker Swerdlowsk (Leitung J. M. Wolinski) (Bild 4.3). Die Reaktionen dieses Modells sind die gleichen, wie bereits oben erläutert. Schall, Stoß und Licht sind die auslösenden Faktoren. Die technische Lösung weicht allerdings vom ersten Beispiel ab. Bei diesem Modell ist neu, daß Anstoß an ein Hindernis und gleichzeitiger Schallempfang zu einer Bewegungspause von etwa 1 min führt. Trifft der Schall vor dem Anstoßen ein, so umgeht das Modell das Hindernis. Es folgt nun die Schaltungsbeschreibung.
Im Block 1 befinden sich der Elektromotor und das Relais Rel 1, das zur Umkehr der Drehrichtung des Motors dient. Es wird ein 28-V-Gleichstrommotor benutzt. Der Kontakt 3, der zu Relais Rel 3 gehört, schaltet den Motor bei Eintreffen eines akustischen Signals ab. Block 2 dient zur Speisung des gesamten Modells. Die Netzwicklung schließt man über ein dünnes flexibles Kabel an ein 127-V-Wechselstromnetz an. Über Germaniumgleichrichter wird die Anodenspannung für die benutzten Röhren erzeugt, desgleichen die Relais- und Motorgleichspannung von 24 V. Die 6,3-V-Wechselstromwicklung dient zur Röhrenheizung. Im Block 3 finden wir den mechanischen Kontakt, der beim Anstoßen an ein Hindernis ausgelöst wird. Schließt er, so gelangt eine Gleichspannung von 24 V über einen Vorwiderstand an die linke Wicklung des polarisierten Relais Rel 2, und Kontakt 2 geht in die rechte Lage über. Das bewirkt ein Anziehen der Relais Rel 1 und Rel 5. Rel 1 schaltet den Rückwärtsgang des Modells, Relais Rel 5 den Elektromagneten der Steuerachse ein. Block 4 ist ein Zeitrelais. Wenn der Kontakt 2 in der rechten Lage liegt, beginnt die Zeitverzögerung zu arbeiten. Die Aufladespannung von C 2 erreicht nach einiger Zeit die Zündspannung der Glimmröhre, diese zündet, und durch die rechte Wicklung des polarisierten Relais fließt ein Strom, wodurch der Kontakt 2 in die ursprüngliche linke Stellung zurückgeholt wird. Damit fallen Rel 1

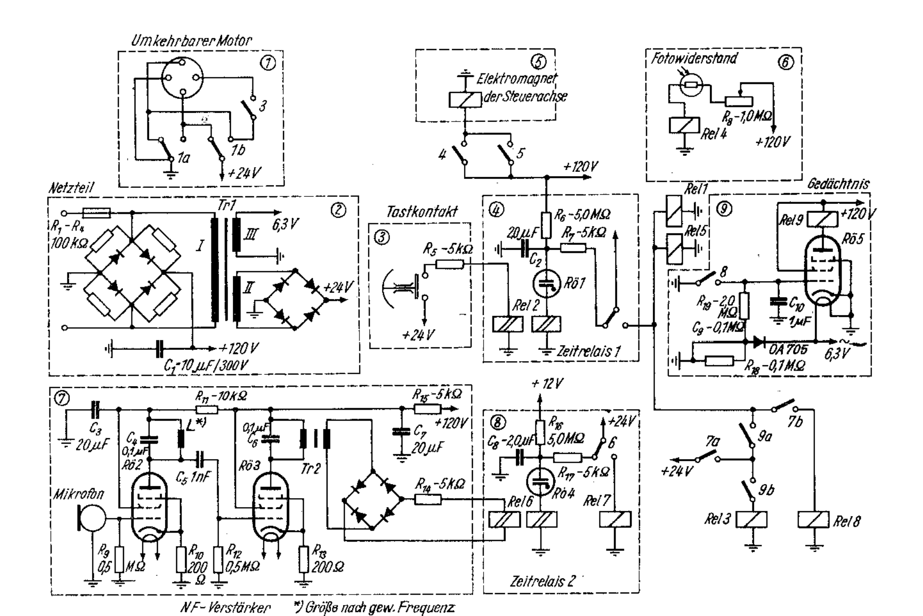


Bild 4.3. Prinzipschaltung der kybernetischen Schildkröte des Klubs junger Techniker in Swerdlowsk (Sowjetunion)

und Rel 5 wieder ab, und das Modell beginnt weiter vorwärtszulaufen.
Im Block 5 befindet sich der Magnet der Steuerachse. Das „Auge" des Modells ist der Block 6 mit dem Fotowiderstand, dem empfindlichen Relais Rel 4 und dem Regelwiderstand R 8. Die drei Bauelemente sind in Reihe an die Spannung 120 V gelegt. Bei Dunkelheit ist der Widerstand des Fotoleiters hoch, das Relais zieht nicht an. Sobald aber Licht auf den Fotowiderstand fällt, verringert sich dessen Widerstand auf $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ des Dunkelwiderstands, und Rel 4 zieht. Mit R 8 kann man die Empfindlichkeit des optischen Empfängers regeln. Block 7 ist ein Niederfrequenzverstärker mit zwei Pentoden. Der vom Mikrofon aufgenommene Schall einer bestimmten Frequenz wird zweistufig verstärkt und dann gleichgerichtet und der linken Wicklung des polarisierten Relais Rel 6 zugeführt. Bei Eintreffen eines akustischen Signals arbeitet Rel 6, Kontakt 6 legt nach rechts um und schaltet Relais Rel 7 sowie Rel 3 ein. Nach einer durch R 16 und C 8 bestimmten Zeit legt der Kontakt 6 wieder nach links um, und das Modell fährt weiter. Der Block 9 enthält das „Gedächtnis" des Modells. Die Heizspannung von 6,3 V wird über eine Diode gleichgerichtet und gelangt nach Siebung als Sperrspannung an das Steuergitter der Pentode. Im Anodenkreis der Röhre liegt die Wicklung des Relais Rel 9. Die Röhre ist gesperrt. Wenn Schall und Anstoß gleichzeitig eintreffen, dann zieht Koinzidenzrelais Rel 8 an. Der Kontakt 8 schließt das Gitter der Röhre nach Masse kurz und entlädt den Kondensator C 10. Die Spannung am Gitter der Röhre bleibt einige Zeit lang Null, die Röhre öffnet, und Rel 9 arbeitet. Die Röhre bleibt etwa 1 bis 1,5 min geöffnet (was von der Zeitkonstante R 19 und C 10 abhängt). Danach genügt es, einen Pfiff zu geben, und das Modell setzt, ohne anzustoßen, seinen weiteren Weg fort. Mit Hilfe des Kontaktes 9 b wird das Motorausschaltrelais blockiert. Wie man sieht, ist die technische Lösung grundverschieden vom ersten Beispiel, die erzielbare Funktion aber sehr ähnlich.

5. Kybernetisches Fahrmodell auf der Basis des „Omega"

(nach Oettel)

Auf der dritten Leistungsschau der DDR-Funkamateure stellte Oettel (DM 2 ATE) eine volltransistorisierte Schildkröte auf der Basis des Spielzeugfahrwerks „Omega" vor. Die gesamte Stromversorgung erfolgt aus einer Taschenlampenbatterie bzw. bei längerem Betrieb aus vier gasdich-

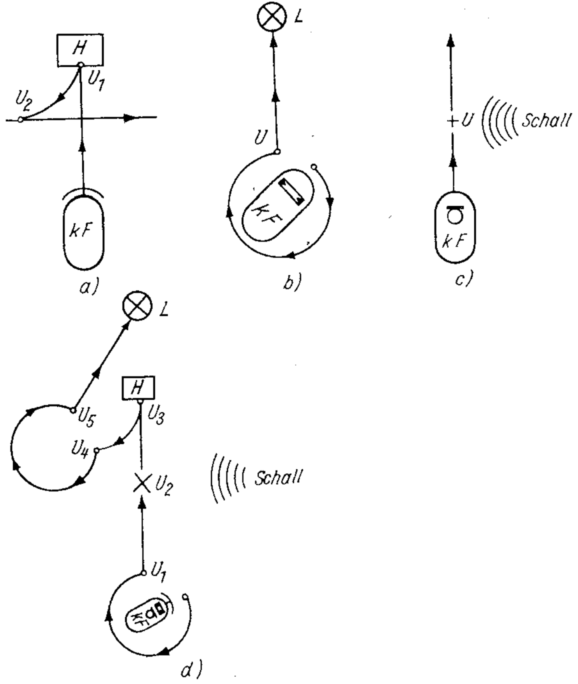


Bild 5.1. Bewegungsablauf der kybernetischen Schildkröte; Bewegung der Schildkröte bei Hindernis H (a), bei Lichtquelle L (b), bei Schalleinwirkung (c), kombinierter Bewegungsvorgang (d). Die mit „U" bezeichneten Punkte stellen den Beginn eines neuen Bewegungsablaufs dar

ten Nickel-Kadmium-Sammlern von 1 Ah. Obwohl Nickel-Kadmium-Sammler in der Anschaffung teurer sind, rentieren sie sich über längere Zeit, da man die Batterien immer wieder aufladen kann. Im Gesamtschaltbild (5.12) sind die drei „Sinnesorgane" des Modells zu erkennen: Tastorgan, Hörorgan und Sehorgan. Hinter das Mikrofon wurde ein Transistor-NF-Verstärker geschaltet, der die geringen Tonfrequenzspannungen soweit verstärkt, daß sie nach Gleichrichtung und Zeitverzögerung ein Relais schalten können. Hinter den Tastkontakt ist ebenfalls ein Zeitverzögerer geschaltet, dem das Bewegungsumkehrrelais folgt. Der Fotozelle folgt eine Triggerstufe und ein Leistungsverstärker zum Aussteuern des Relais. Das Relais setzt einen Fahrmotor außer Funktion und bewirkt damit die Drehung des Modells. Das Relais hinter dem Mikrofon schaltet beide Motoren ab. In Bild 5.1 ist der Bewegungsablauf des Mo-

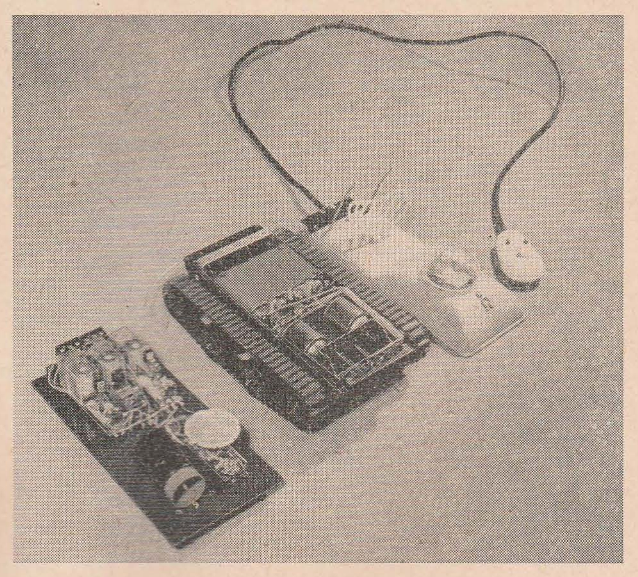


Bild 5.2. Aufbau des Modells auf dem Fahrwerk „Omega"

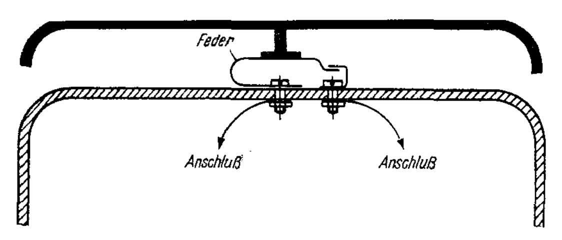


Bild 5.3. Konstruktion des Tastbügels

dells dargestellt. Es beginnt seinen Weg mit einer Drehung, dann folgt eine gerade Vorwärtsbewegung, die beim Eintreffen eines akustischen Zeichens unterbrochen wird. Ein Hindernis löst eine Rückwärtsbewegung und Drehung aus, dann folgt erneutes Suchen der Lichtquelle. Bild 5.2 zeigt den gut gelungenen konstruktiven Aufbau des Modells auf dem Fahrwerk „Omega". Das lichtempfindliche Element sitzt in einer Filmdose, das Mikrofon ist senkrecht nach oben gerichtet. Die einzelnen Baugruppen und die Relais sind gut zu erkennen. Sie lassen sich leicht auswechseln, da nur wenige Lötverbindungen und Schrauben gelöst werden müssen. Das Modell ist in Stufen herstellbar. Man kann es z. B. zuerst lediglich mit dem Tastsinn ausrüsten und erst später die anderen Funktionen noch einbauen. Bild 5.3 zeigt die Konstruktion des Tastbügels, den man zweckmäßig aus stabilem Kupferdraht herstellt. Er ist an der Vorderseite des Modells angeordnet und über zwei Leitungen mit der Funktionsplatte Tastorgan verbunden. Beim Anstoßen an ein Hindernis schließt der Kontakt S (Bild 5.4), und der

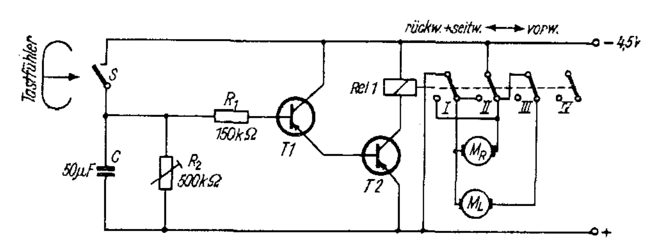


Bild 5.4. Schaltung des Funktionsblocks des Tastorgans

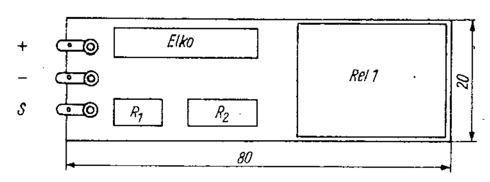


Bild 5.5. Aufbau des Funktionsblocks „Tastorgan"

Elektrolytkondensator C lädt sich auf. Damit wird T 1 leitend, und auch T 2 öffnet; die Relaiswicklung von Rel 1 erhält Strom, und das Relais zieht. Die Kontakte I bis IV werden nun umgelegt, und das Modell wird von Vorwärtsfahrt auf Rückwärtsfahrt mit Drehung geschaltet. Das Relais 1 bleibt so lange angezogen, bis C entladen ist. Mit R 2 läßt sich die Entladezeit regeln. Man stellt die Abfallverzögerung so ein, daß das Modell eine Vierteldrehung vollführt und dann wieder auf Vorwärtsfahrt umschaltet. Als Relais wird die Type GBR 301 vom VEB Bauelementewerk Großbreitenbach benutzt. Den Aufbau der Funktionsgruppe auf ein Pertinaxbrett zeigt Bild 5.5. Vergrößert man C, so kann ohne weiteres ein Transistor weggelassen werden. Die beschriebene Schaltung läßt sich aber auch für längere Verzögerungen sowie für andere Zwecke verwenden. Als Transistoren können die billigen L-Typen ohne weiteres benutzt werden. Der Wicklungswiderstand des Relais Rel 2 soll 80 bis 150 Ω betragen, damit es bei einer Batteriespannung von 4,5 V sicher zieht. Der Tastkontakt ist nach Einbau so zu justieren, daß er sowohl bei linksseitigem als auch mittlerem oder rechtsseitigem Anstoß sicher schließt.

Das „Sehorgan" besteht aus einem optischen und einem elektronischen Teil. Der optische Teil besitzt als lichtempfindliches Element einen Fotowiderstand (Kadmium-Sulfid-Widerstand VEB Zeiss). Zur Gesichtsfeldbegrenzung wurde in einiger Entfernung vor diesem eine Sammellinse angeordnet (handelsübliche Uhrmacherlupe). Zwischen Sammellinse und Fotowiderstand kann nach Bedarf noch eine Lochblende eingesetzt werden, was besonders in hellen Räumen vorteilhaft ist. Oettel benutzte dafür eine Kleinbild-

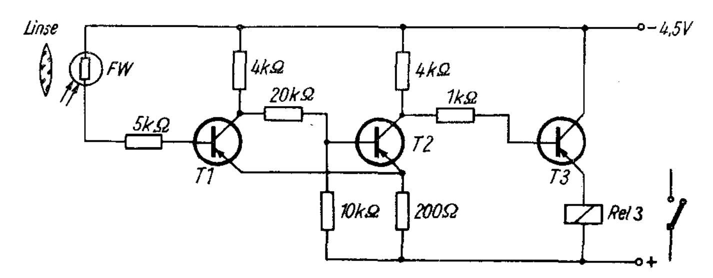


Bild 5.6. Schaltung des „Sehorgans" der kybernetischen Schildkröte

filmdose (schwarzer Preßstoff), an deren Rückwand der Fotowiderstand eingeklebt wurde. Der Deckel der Filmbüchse enthält eine runde Öffnung zum Lichteintritt, und in diesen wird die Lupe eingeklebt. Der Widerstand des lichtempfindlichen Elements verringert sich bei Lichteinfall proportional der Helligkeit. Für den vorliegenden Anwendungsfall genügt aber eine „Ja/Nein"-Information, so daß man dem Fotowiderstand einen Schmitt-Trigger nachschaltet. Diese Multivibratorschaltung sorgt dafür, daß bei einem bestimmten Helligkeitswert das Relais Rel 3 schnell umgeschaltet wird (Bild 5.6). Im Basiskreis von T 1 liegen der Fotowiderstand und ein Schutzwiderstand von 5 kΩ. Mit zunehmender Beleuchtungsstärke steigt der Basisstrom von T 1 an, und bei einem durch die Größe der Widerstände festgelegten Wert kippt der Schmitt-Trigger plötzlich um. Der Kollektorkreis von T 1 ist galvanisch mit dem Basiskreis von T 2 gekoppelt, während die Rückkopplung von T 2 auf T 1 über den gemeinsamen Emitterwiderstand von T 1 und T 2 von 200 Ω erfolgt. Die Relaistreiberstufe T 3 (Leistungsverstärker) ist direkt an den Kollektor von T 2 angekoppelt und als Emitterfolger geschaltet. Wenn T 2 bei Lichteinfall sperrt, erhält die Basis von T 3 genügend Strom, und Rel 3 zieht an. Rel 3 entspricht in den elektrischen Kennwerten Rel 2. Man nutzt einen Relaiskontakt aus, der bei fehlendem Lichteinfall einen Motor abschaltet, um die Drehbewegung des kybernetischen Fahrmodells auszulösen. Wird der Fotowiderstand von Licht getroffen, so schließt

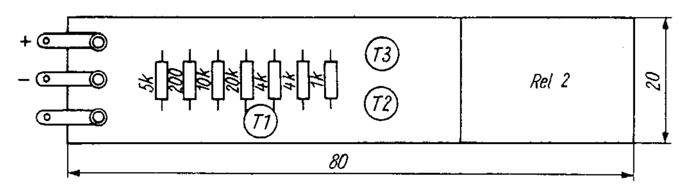


Bild 5.7. Konstruktiver Aufbau des Funktionsblocks des „Sehorgans“

der Relaiskontakt von Rel 3, und beide Motoren erhalten Strom; das Modell fährt geradeaus auf die Lichtquelle zu. Die konstruktive Ausführung der Funktionsgruppe zeigt Bild 5.7. Alle Bauelemente finden auf einer Pertinaxplatte von 80 mm × 20 mm Größe Platz.

Als letztes „Sinnesorgan“ der Schildkröte wird nun noch das Hörorgan beschrieben. Dieses Hörorgan sorgt dafür, daß die Schildkröte bei Ertönen eines Pfiffes eine Weile stehenbleibt und dann wieder weiterfährt. Das Hörorgan besteht aus dem Mikrofon als Schallaufnehmer, dem NF-Verstärker und dem Zeitkonstantenglied mit Relais. Die Baugruppe Mikrofon mit NF-Verstärker und die Zeitkonstantenstufe werden auf je ein Pertinaxplättchen aufgebaut. Bild 5.8 zeigt die Schaltung des NF-Verstärkers. Als Schallaufnehmer benutzt man eine Kristallmikrofonkapsel. Die bei Eintreffen von Schall im Mikrofon erzeugte niederfrequente Wechselspannung wird durch T 1 verstärkt und direkt auf T 2 gekoppelt. Hier erfolgt eine weitere Verstärkung. Anschlie-

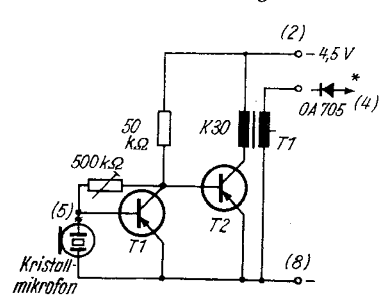


Bild 5.8. Schaltung des NF-Verstärkers (T = GC 101)
* geht an Eingang Bild S. 9

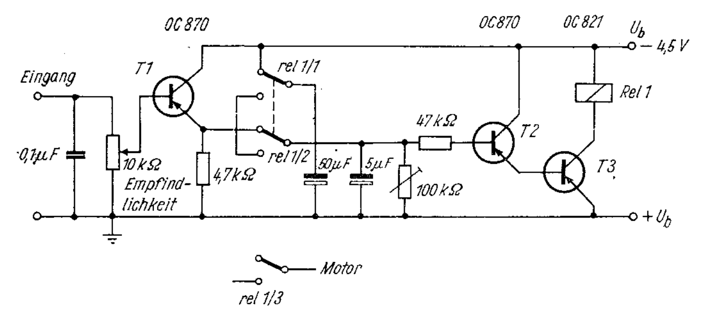


Bild 5.9. Schaltung des Zeitglieds des „Hörorgans"

ßend wird die verstärkte NF-Spannung transformatorisch ausgekoppelt und mittels Diode gleichgerichtet. In Bild 5.9 ist die Schaltung des Zeitkonstantenglieds dargestellt. Durch das Zeitkonstantenglied wird erreicht, daß das kybernetische Modell einen Moment stehenbleibt, wenn ein Pfiff ertönt. Die Verweilzeit läßt sich in gewissen Grenzen regeln. Da die Spannung hinter der Diode OA 705 klein ist, wurde im Zeitkonstantenglied der Verstärkertransistor T 1 zusätzlich eingebaut. Im Ruhezustand T 1 ist gesperrt. Trifft eine gleichgerichtete Wechselspannung am Eingang ein, so öffnet er und lädt den parallel zu seinem Emitterwiderstand liegenden Kondensator von 5 µF auf. Die Basis von T 2 erhält jetzt über einen Vorwiderstand Strom, und auch dieser Transistor wird geöffnet. Durch die direkte Kopplung öffnet damit auch gleichzeitig T 3, und das in seinem Kollektorkreis liegende Relais zieht an. Damit werden die Stromkreise beider Motoren abgeschaltet; das Modell bleibt stehen. Wenn der Kondensator entladen ist, dann fällt das Relais wieder ab; das Modell setzt seinen Weg fort. Durch

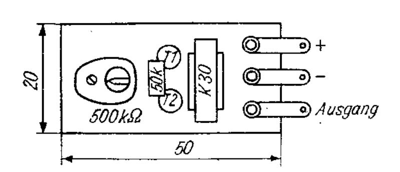


Bild 5.10.
Konstruktiver Aufbau der Schaltung nach Bild 5.8.

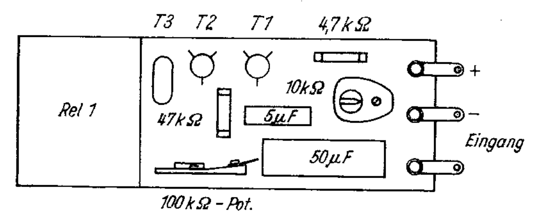


Bild 5.11. Konstruktiver Aufbau der Schaltung nach Bild 5.9.

geeignete Wahl der Zeitkonstante kann die Verweilzeit entsprechend eingestellt werden.
Bild 5.10 gibt den konstruktiven Aufbau der Vorverstärkergruppe an, während Bild 5.11 den Zeitkonstantenbaustein zeigt. Für den endgültigen Aufbau des Modells werden nun noch die entsprechenden Leitungen der Baugruppen verbunden. Man erhält dann die Gesamtschaltung nach Bild 5.12. Nachdem die Schaltung auf eventuelle Fehler untersucht und die Funktion jeder einzelnen Baugruppe geprüft wurde, kann das Modell in Betrieb genommen werden.

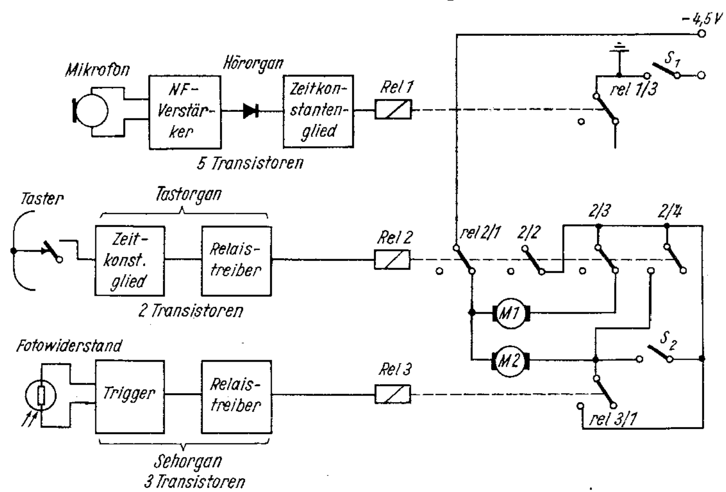


Bild 5.12. Gesamtschaltung des elektrischen Teiles des kybernetischen Fahrmodells

Es wird dem Amateur bei der Beschäftigung mit dem Schildkrötenmodell klarwerden, daß dies über ein reines Spielzeug hinausgeht. Das Modell ist trotz der begrenzten Nachbildung der Sinnesorgane in der Lage, einige Verhaltensweisen realer biologischer Objekte zu demonstrieren. Es kann „sehen", „hören" und „fühlen". Außerdem bewegt es sich natürlich, denn in Auswertung der aufgenommenen Reize reagiert es mit Richtungsänderungen oder bleibt kurzzeitig stehen, auch wenn man es, eingeschaltet, sich selbst überließe. Das ist der wesentliche Unterschied gegenüber einem Fernsteuermodell, das in seinen Bewegungen ausschließlich vom Willen des Menschen abhängt. Die Grundfunktionen Aufnehmen, Verarbeiten, Reagieren (in einer dem bestimmten Prozeß – z. B. der Herstellung eines Produkts mit bestimmten vorgegebenen Eigenschaften – dienlichen Weise) aber will der Mensch für seine Zwecke in solche „sich selbst regulierenden Systeme" einbauen. Das Tier aber ist ein solches „bionisches" System, das auf äußere Einflüsse (die seine Sinnesorgane aufnehmen) in einer Weise reagiert, die ihm selbst zuträglich ist (z. B. Futtersuche, Ausweichen vor Hindernisse usw.). Das Studium solcher Vorgänge – meist noch in vereinfachter Form – und ihre Nachbildung mit elektronischen und elektromechanischen Mitteln erweitern also unser Wissen und befähigen uns dadurch z. B. zur Lösung der im modernen Produktionsprozeß auftretenden Automatisierungsprobleme.
Es sollen nun noch einige Funktionserweiterungen für das Schildkrötenmodell behandelt werden. Das beschriebene einfache Schildkrötenmodell läßt sich bereits mit geringem Aufwand erweitern. Es ist beispielsweise möglich, das Tastorgan nur mit Hilfe einiger Zusatzkontakte zu vervollständigen. In der ursprünglichen Ausführung reagiert das Modell nach erfolgtem Anstoß an ein Hindernis durch seitliches Rückwärtsfahren. Diese Ausweichbewegung wird von einem RC-Glied zeitlich begrenzt. Berührt das Modell während des Rückwärtsfahrens mit dem rückwärtigen Teil ein weiteres Hindernis, dann erfolgt keinerlei Reaktion. Die Schildkröte stößt so lange am neuen Hindernis an, bis wie-

der auf „Vorwärts" umgeschaltet wird. Ein sofortiges Umschalten auf „Vorwärts" erreicht man, indem man am rückwärtigen Teil des Modells einen zweiten Kontaktbügel anbringt. Die Kontakte des Stoßbügels stellen einen Kurzschluß zum Kondensator des Zeitglieds her. Stößt das Modell beim Rückwärtsfahren an, so schließt der Kontakt des zweiten Bügels und sorgt für sofortige Entladung des Kondensators C (Bild 5.4). Damit wird das Relais umgeschaltet, und das Modell bewegt sich vorwärts. Eine zweite zusätzliche Möglichkeit bietet ein Abgrundkontakt, den man dem vorderen Tastfühler parallelschaltet. Bild 5.13 zeigt den Kontakt. Der Kontakt des Abgrundbügels ist offen, wenn sich das Modell auf ebener Fläche bewegt. Fährt es auf einen Abgrund zu, so verliert der Fühler den Widerstand der bisherigen Fahrbahn, und sein Kontakt schließt sich; es wird sofort eine Ausweichbewegung eingeleitet.

Eine andere Reaktion des Modells könnte sein, daß die Schildkröte z. B. vor einem Abgrund „erschreckt" stehenbliebe. Damit dieser Effekt erreicht wird, muß der Abgrundkontakt statt dem Tastorgan dem Schaltzeitglied zugeschaltet werden. Das Zeitglied für den Schall reagiert bekanntlich auf negative Impulse des Mikrofonverstärkerausgangs. Schaltet man über einen Schutzwiderstand (10 bis 50 Ω) den Abgrundkontakt an den Diodenausgang vor dem Schallzeitglied, dann ergibt sich folgendes: Schließt sich der Fühlkontakt vor einem Abgrund, so wird der Zeitschalter umgeschaltet, und das Modell stoppt. Nach Ablauf der durch das RC-Glied vorgegebenen Umschaltzeit erfolgt ein erneutes Umschalten, so daß das Modell ständig stehenbleibt.

Auch das „Sehorgan" läßt eine andere Schaltvariante ohne zusätzliche Teile zu. Im ursprünglichen Zustand sucht das

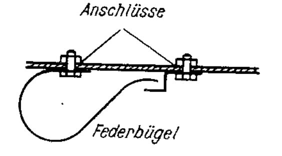


Bild 5.13.
Schematischer Aufbau des Abgrundkontakts

Modell Licht, indem es sich so lange im Kreise dreht, bis der Fotowiderstand vom Licht getroffen wird und damit Geradeauslauf bewirkt. Durch einfache Umschaltung des Relais des „Sehorgans" kann folgendes erreicht werden:
Das Modell bewegt sich geradeaus. Wird der Fotowiderstand von einer stärkeren Lichtquelle getroffen, dann schaltet das Relais des „Sehorgans" um, und das Modell weicht seitlich aus, bis der Fotowiderstand den Lichtbereich verlassen hat. Diese Funktion gleicht also dem Ausweichen vor stärkeren Lichtquellen.
Auch ein Reagieren auf Wärmewirkung kann mit dieser geänderten Schaltung erreicht werden, wenn statt des Fotowiderstandes ein Heißleiter (Thermistor) eingebaut wird. In diesem Fall genügt natürlich nicht nur das Austauschen des Fotowiderstands gegen einen Heißleiter, sondern eine Widerstands-Thermistor-Kombination muß die Auslösung der Triggerstufe des Schaltorgans bei Wärme bewirken.
Diese Erweiterungsvorschläge sind nur einige von zahlreichen Möglichkeiten (s. auch „Das große Elektronikbastelbuch" von H. Jakubaschk).

6. Optische Nachlaufsteuerung – Nachbildung des Sehens

Nach der Beschreibung dieses modernen und leicht nachzubauenden kybernetischen Fahrmodells sollen nun für den fortgeschrittenen Amateur noch kompliziertere Nachbildungen der Sinnesorgane behandelt werden. Diese sind allerdings nur als Anregungen für eigene Entwicklungen zu werten und nicht als Nachbauanleitung.

Die „Sinnesorgane" des soeben beschriebenen Fahrmodells reagierten nur auf den Maximalwert einer anregenden Größe (eines Stimulus – wie der Mediziner sagt). In der Natur werden aber Sinnesorgane eingesetzt, die auf Amplitude und Phase oder, anders gesprochen, auf Richtung und Größe des Stimulus reagieren. Der Mensch besitzt zwei Augen und zwei Ohren und ist mit diesen in der Lage, Stärke und Richtung einer Erregung zu bestimmen. Wir können also „stereoskopisch" sehen und „stereofonisch" hören, d. h., wir können aus den von je zwei Sinnesorganen empfangenen Signalen auf die räumliche Lage der Signalquelle schließen. Dieses Verhalten ist technisch nicht ganz einfach nachzubilden. Mittels Fotoelemente mit ebener Oberfläche kann man nicht ohne weiteres räumlich „sehen". Sie reagieren z. B. nicht auf eine seitliche Verschiebung einer Lichtquelle, solange deren Abbildung auf der Fläche der Fotokatode verbleibt. Annähern oder Entfernen der Lichtquelle ergibt Zu- oder Abnahme des Fotostroms, und zwar umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung.

Soll das Fotoelement gegenüber einer seitlichen Verschiebung einer Lichtquelle empfindlich sein, so muß beispielsweise ein Verlauffilter vorgeschaltet werden. Bild 6.1 gibt im Prinzip die Wirkungsweise des Verlauffilters wieder. Das Verlauffilter läßt auf seiner linken Seite weniger Licht hindurch als auf der rechten. Wenn sich also die Lichtquelle bei konstanter Entfernung von G1 nach G2 bewegt, so liegt das Bild G1′ bzw. G2′ in der Ebene des Verlauffilters an

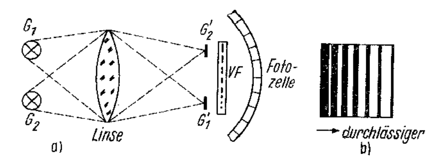


Bild 6.1. Wirkungsweise des Verlauffilters (a), Aufbau des Verlauffilters (b)

zwei Stellen unterschiedlicher Durchlässigkeit. Eine seitliche Verschiebung ergibt also eine Veränderung des Fotostroms. In Bild 6.2 wird nun das Prinzip des fotoelektrischen Nachlaufsystems näher erläutert. Die Fotozelle ist auf einen Drehkranz montiert, der über ein Getriebe von einem umsteuerbaren Motor langsam gedreht werden kann. Wenn jetzt die Lichtquelle L ins „Gesichtsfeld" des Suchkopfs kommt, dann wird ihr Abbild zunächst auf den undurchlässigen Teil des Verlauffilters fallen, und bei Weiterdrehung des Suchkopfs steigt der Fotostrom bis auf den Wert an, der zur Betätigung des Relais Rel 1 notwendig ist. Rel 1 schaltet über seinen Kontaktsatz rel 1 den Drehmotor um, und der Suchkopf bewegt sich nun von der Lichtquelle weg. Das geschieht so lange, bis der Lichtstrom zu klein geworden ist, um das Relais zu halten, und dieses wieder abfällt. Damit erhält der Motor die ursprüngliche Dreh-

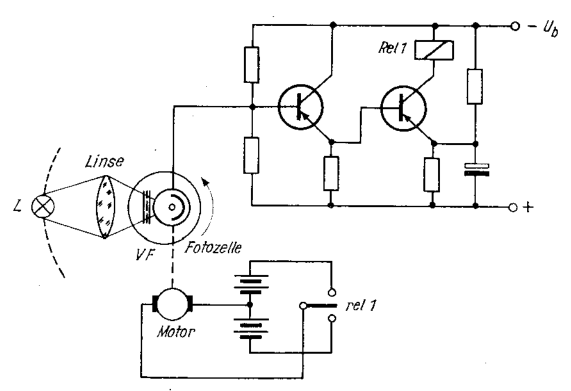


Bild 6.2. Prinzip des fotoelektrischen Nachlaufsystems

richtung, und das Spiel beginnt von neuem. Als Ergebnis dieser Maßnahmen „blickt" der fotoelektrische Suchkopf mit geringen Pendelungen in die Richtung der Lichtquelle. Dieses einfache Nachlaufsystem hat nun noch den Nachteil, daß der Abstand der Lichtquelle die Größe des Fotostroms ebenfalls beeinflußt. Das ergibt z. B. bei Bewegungen der Lichtquelle auf den Suchkopf zu oder von ihm weg einen „Schielfehler".

Man rüstet deshalb diesen fotoelektrischen Suchkopf mit einem binokularen System, d. h. mit zwei Fotozellen und zwei Verlauffiltern aus. In diesem Fall hat die Helligkeit der Lichtquelle keinen Einfluß, denn ein Annähern oder ein Entfernen der Lichtquelle wirkt auf beide Zweige gleichermaßen, während ein seitliches Auswandern durch die entgegengesetzt angeordneten Verlauffilter eine zur Nachsteuerung geeignete Stromdifferenz ergibt. Bild 6.3 stellt die Prinzipschaltung des binokularen fotoelektrischen Nachlaufsystems dar. Der Suchkopf mit den beiden optischen Systemen wird wieder von einem stark untersetzten, umsteuerbaren Gleichstrommotor gedreht. Mit der Drehachse des Motors ist starr ein Endlagenschalter verbunden,

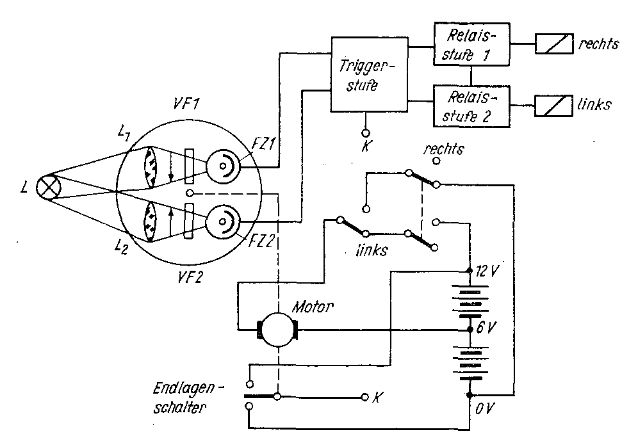


Bild 6.3. Binokulares fotoelektrisches Nachlaufsystem

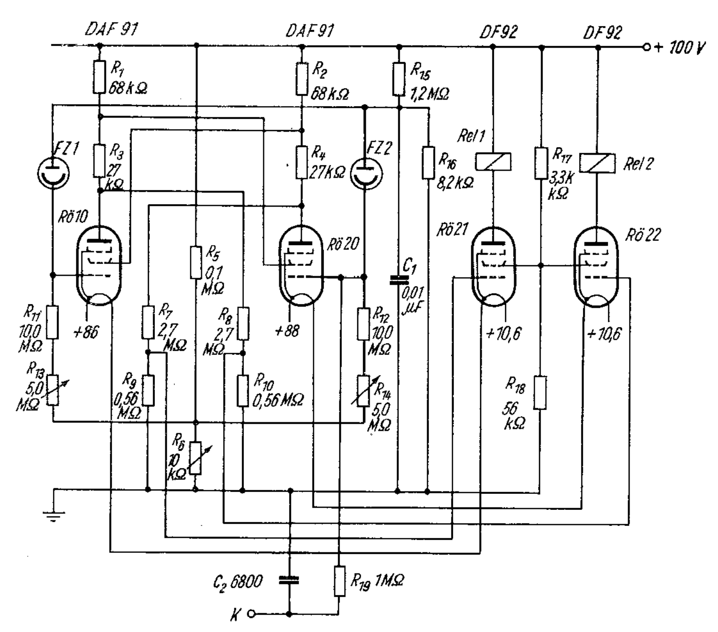


Bild 6.4. Schaltung des binokularen optischen Suchkopfs

der bei ± 90 Grad den Suchkopf umsteuert. Die beiden Fotozellen liegen an den Gittern einer bistabilen Multivibratorstufe, die bei einer kleinen Spannungsdifferenz sofort umschaltet. Im Anodenkreis dieser Triggerstufe sind zwei Relaisstufen angekoppelt, die die beiden Umsteuerrelais für Rechts- und Linkslauf betätigen. Bild 6.4 zeigt eine Röhrenschaltung (nach Bruinsma) für dieses Nachlaufsystem, die selbstverständlich ohne weiteres transistorisiert werden kann, wenn man statt der verwendeten gasgefüllten Fotozellen Kadmium-Sulfid-Widerstände benutzt. Das beschriebene Nachlaufsystem hat folgende Eigenschaften:

— Auf Grund der Auslegung der ersten Stufe als Triggerstufe (bistabiler MV) genügt eine Differenzspannung von 1 mV an den Gittern der beiden Röhren, um die

Stufe zum Umkippen zu bringen. Der Restwinkelfehler bei der Umsteuerung des Suchkopfs ist daher sehr klein.

— Durch die binokulare Ausführung erhöht sich die Empfindlichkeit des Systems, es reagiert also schon auf kleinere Lichtintensitäten.

— Ein Annähern oder ein Entfernen der Lichtquelle – solange sie sich in der Mitte des „Gesichtsfelds" befindet – wirkt auf beide Kanäle gleichermaßen, womit dieser Einfluß kompensiert und ein „Schielfehler" vermieden wird.

— Durch das Einschalten des Endlagenschalters kann der Suchkopf bei Fehlen einer Lichtquelle zum kontinuierlichen Suchen gebracht werden.

Mit gasgefüllten Fotozellen und Sammellinsen von etwa 3 cm Durchmesser läßt sich eine 100-W-Glühlampe noch in 12 m Entfernung suchen und stetig verfolgen. Derartige optische Nachlaufsysteme spielen heute im Militärwesen eine große Rolle, sie werden oft bei zielsuchenden Raketen angewendet. Dort wird allerdings ein etwas abweichendes System benutzt. Dabei läßt man vor der Fotozelle eine Blendenscheibe rotieren, die von innen nach außen eine steigende Anzahl von Streifen hat. Mit dieser Methode ergibt sich bei größerer Ablage des Ziels von der „Sehachse" eine höhere Unterbrechungsfrequenz für den Lichtstrahl. Es werden dann beispielsweise Regelschaltungen eingebaut, die auf geringstmögliche Frequenz einregeln.

7. Akustische Nachlaufsteuerung – Modell des stereofonischen Hörens

Ähnlich wie beim stereoskopischen Sehen ist es dem Menschen durch das zweiohrige Hören möglich, den Ort der Schallquelle leichter zu lokalisieren. Hierbei wird die Tatsache ausgenutzt, daß der uns erreichende Schall eine endliche Laufzeit hat und daß z. B. eine aus bestimmter Richtung einfallende Schallwelle an einem Ohr später ankommt als am anderen. Man mißt also die Phasenunterschiede zwischen den im rechten und linken Ohr empfangenen Schallwellen. Denkt man sich die Ohren durch in bestimmtem Abstand angeordnete Mikrofone ersetzt, dann treten die gleichen Verhältnisse auf, vorausgesetzt, daß beide Mikrofone mit nachgeschalteten Verstärkern gleiche Phasencharakteristiken haben. Auch hier kann also aus dem Phasenunterschied auf die Richtung geschlossen werden. Das stereofonische Nachlaufsystem eines kybernetischen Modells führt man so aus, daß sich der Suchkopf mit zwei Mikrofonen in die Richtung dreht, aus der ein Pfiff ertönte. Damit Umgebungsgeräusche unwirksam bleiben, wählt man als Signal eine 400-Hz-Tonfrequenz, die mittels Pfeife erzeugt wird. Man kann dann ein einfaches Phasenmeßgerät für eine Frequenz aufbauen, bei dem die gemessene Phase ein eindeutiges Maß für den Einfallswinkel des Schalles ist. Die Frequenz von 400 Hz wurde aus folgenden Gründen gewählt:

— Es kann ein beträchtlicher Phasenwinkel bereits bei kleinem gegenseitigem Abstand der beiden Mikrofone erreicht werden.
— Es lassen sich genügend schmalbandige Filter mit nicht zu hohem Aufwand einschalten.
— Diese Frequenz ist relativ unempfindlich gegen Sprachbeeinflussung, d. h., der Suchvorgang wird durch Gespräche bei der Vorführung nicht beeinflußt.

Bild 7.1 zeigt das Blockschaltbild des akustischen Such-

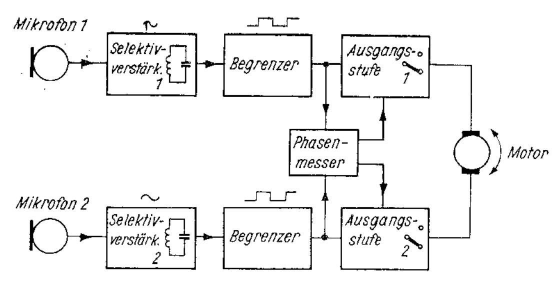


Bild 7.1. Blockschaltung des akustischen Suchkopfs

kopfs. Zwei Kristallmikrofone werden in einem Abstand von 32 cm auf einem drehbaren Kopf angeordnet. Hinter jedem Mikrofon folgen ein Selektivverstärker sowie ein Begrenzer. Der Begrenzer formt die 400-Hz-Sinusspannung in eine Rechteckspannung gleicher Frequenz um, die man einem Phasenmesser und den beiden Ausgangsstufen zur Steuerung des richtungsumkehrbaren Nachdrehmotors zuführt. Durch die Begrenzung wird die Anzeige des Phasenmessers unabhängig von der Lautstärke der Schallquelle. Phasenbeziehungen im Schallfeld zeigt Bild 7.2. In Bild 7.2 a sind die beiden Mikrofone 1 und 2 im Abstand d angeordnet, sie befinden sich so weit von der Schallquelle entfernt, daß ihr Abstand klein gegenüber dem zur Schallquelle ist.
Wenn zwei Mikrofone frei angeordnet sind, so ergibt sich für eine Schallwelle der Wellenlänge λ in Luft ein Phasenunterschied

$$t = d \cdot \sin \alpha \cdot 2\,\pi/\lambda.$$

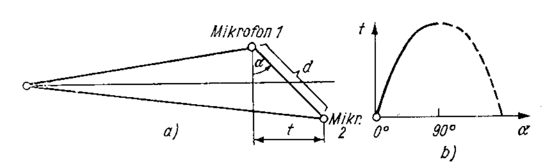


Bild 7.2. Zusammenhang zwischen Einfallsrichtung des Schallsignals (a) und Phasendifferenz der Tonfrequenz (b)

In Bild 7.2 b ist die Beziehung zwischen dem Neigungswinkel α und der Phasenverschiebung t dargestellt, sie verläuft etwa sinusförmig; die größte Genauigkeit der Winkelbestimmung ergibt sich für $\alpha = 0$. Der gegenseitige Abstand von 32 cm entspricht bei einer Frequenz von 400 Hz einem maximal möglichen Phasenwinkel von 150 Grad. Der Aufbau des Phasenmessers soll nicht weiter beschrieben werden, da der Aufwand für die Realisierung dieses Ortungsverfahrens hoch ist (etwa 15 Transistoren und 10 Dioden). Interessenten seien auf die Broschüre „Practical Robot Circuits" von A. H. Bruinsma verwiesen.
Weiterhin lassen sich bestimmte Steuerfunktionen durch Folgen von kurzen Tonfrequenzsignalen realisieren. So kann man z. B. erreichen, daß der Roboter bei Nennung seines Namens „stutzt" bzw. stehenbleibt. Das kybernetische Modell erhält beispielsweise den Namen „Elsi". Damit nun bestimmte Steuerfunktionen erfolgen, muß man zwei Selektivverstärker gemeinsam mit Zeitverzögerungsglied sowie einem Und-Tor so anordnen, daß zuerst eine tiefe Tonfrequenz den Weg frei macht (bei Aussprache des „el"), anschließend eine kurze Speicherung dieses Signals auftritt und dann die höhere Tonfrequenz gemeinsam mit dem gespeicherten vorherigen Wert das Und-Tor öffnet und das Ausgangsrelais betätigt wird (bei Aussprache des „si"). Mit diesen technischen Mitteln läßt sich eine Reihe von Verhaltensweisen biologischer Objekte relativ einfach nachbilden. Erst durch die moderne Transistortechnik sind jedoch die Möglichkeiten gegeben, derartige Schaltungen auf kleinstem Raum verwirklichen zu können. Trotzdem sind wir heute noch um viele Größenordnungen von der „Bauelementedichte" des menschlichen Gehirns entfernt.

8. Nachbildung des Wärmeempfindens – Thermistorbrücke

Lebende Organismen haben ein Wärmeempfinden, das sie warnt, wenn heiße Gegenstände in der Nähe sind. Die Wärmeempfindung gestattet nicht die Messung der absoluten Temperatur, sondern nur die der relativen. Auch dieses Sinnesorgan kann man elektrisch nachbilden, und zwar mit Hilfe von Thermistoren, d. h. mit temperaturempfindlichen Widerständen, die einen negativen Temperaturkoeffizienten haben. Baut man solche Wärmefühler an der rechten und linken Seite eines sich fortbewegenden kybernetischen Modells ein, so kann dieses bei entsprechend ausgelegten Steuerungskreisen warme Objekte (z. B. den Ofen) umfahren. Man kann das Modell auch so aufbauen, daß es sich wegdreht, wenn ein heißer Gegenstand vor den Suchkopf gehalten wird. Bild 8.1 zeigt eine Röhrenschaltung, die die Messung der Temperatur an zwei Punkten ermöglicht. Es handelt sich um zwei Thermistorbrücken mit nachgeschalteten Univibratoren. Ordnet man den Meßthermistor beispielsweise in einem Hohlspiegel an, so genügt die Wärme der Hand in 10 cm Abstand, um das System nach Ablauf etwa einer Minute umkippen zu lassen.

Auch diese Röhrenschaltung läßt sich bei geeigneter Dimensionierung leicht transistorisieren. Sie wurde dem bereits erwähnten Buch von Bruinsma entnommen.

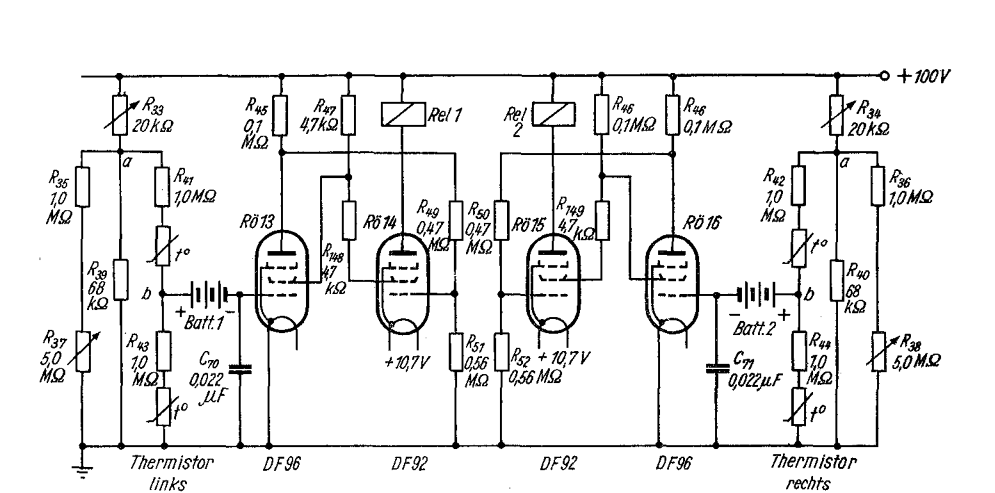


Bild 8.1. Schaltung für ein temperaturempfindliches „Sinnesorgan" (obere Thermistoren zur Kompensation)

9. Akustisches Ortungssystem – elektronische Nachbildung der Fledermaus

Zum Abschluß der Beschreibung der Nachbildungen von Sinnesorganen soll noch ein akustisches Ortungssystem beschrieben werden, mit dem ein kybernetisches Modell bei Dunkelheit „sehen" kann. Bekanntlich senden die Fledermäuse während des Fluges kurze Ultraschallstöße aus und benutzen die von den Gegenständen der Umgebung reflektierten Schallwellen, um eine radarähnliche „Ortung" durchzuführen. Schallwellen breiten sich in der Luft mit einer mittleren Geschwindigkeit von 330 m/s aus. Will man eine Entfernung von 10 cm messen, so entspricht diese einer Laufzeit von 600 μs. Da eine Reichweite des Schallortungssystems von 1 m für ein kybernetisches Modell völlig genügt, sollte der Impulsabstand des „akustischen Radargeräts" kleiner als 6 ms sein. Die Impulsfolgefrequenz beträgt demnach 160 Impulse je Sekunde. Man kann jedoch die Impulsfolgefrequenz aus Energieersparnisgründen ohne weiteres auf 0,5 Impuls je Sekunde herabsetzen. Bild 9.1 zeigt das Blockschaltbild des akustischen Ortungssystems. Als Schallsender wird ein Lautsprecher verwendet, der Impulse mit einer Trägerfrequenz von 10 kHz abstrahlt. Eine

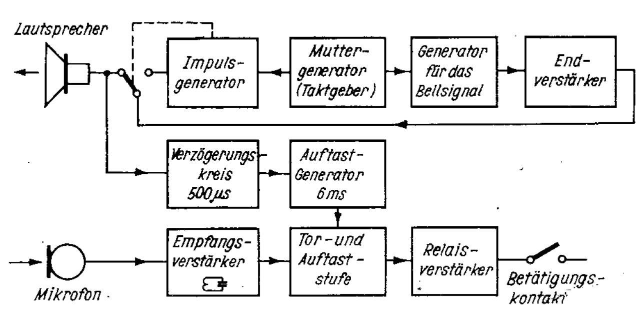


Bild 9.1. Blockschaltung des akustischen Ortungsgeräts zur Nachbildung des Sehens bei Dunkelheit

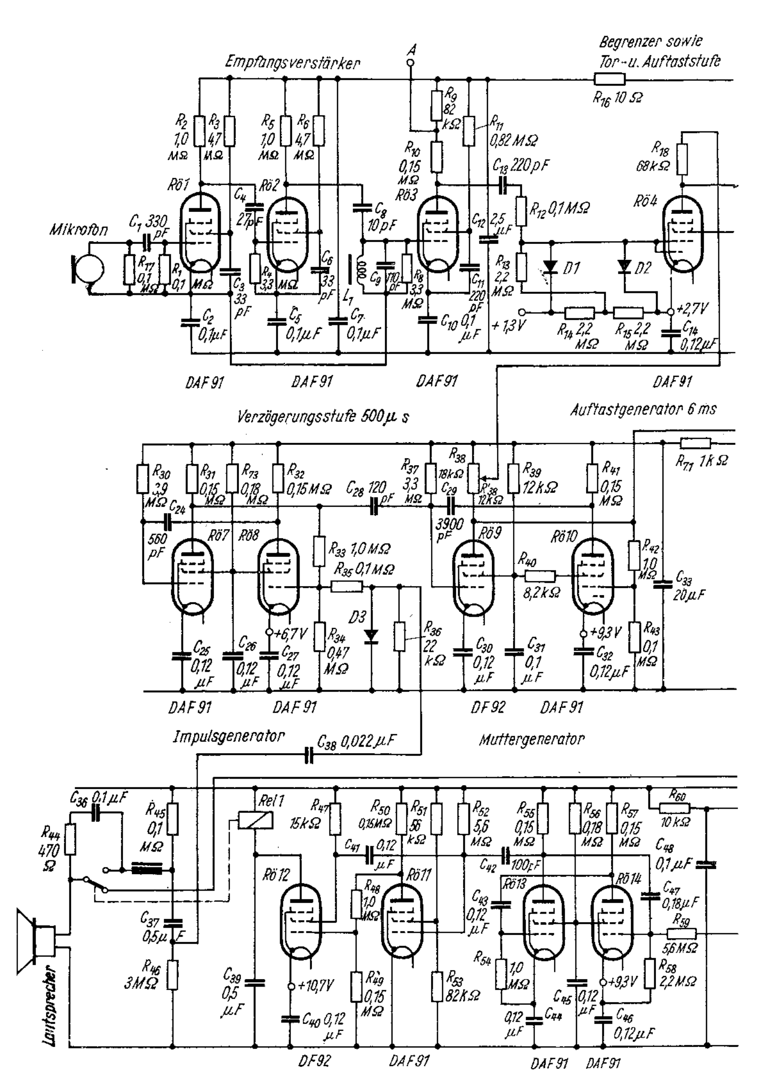
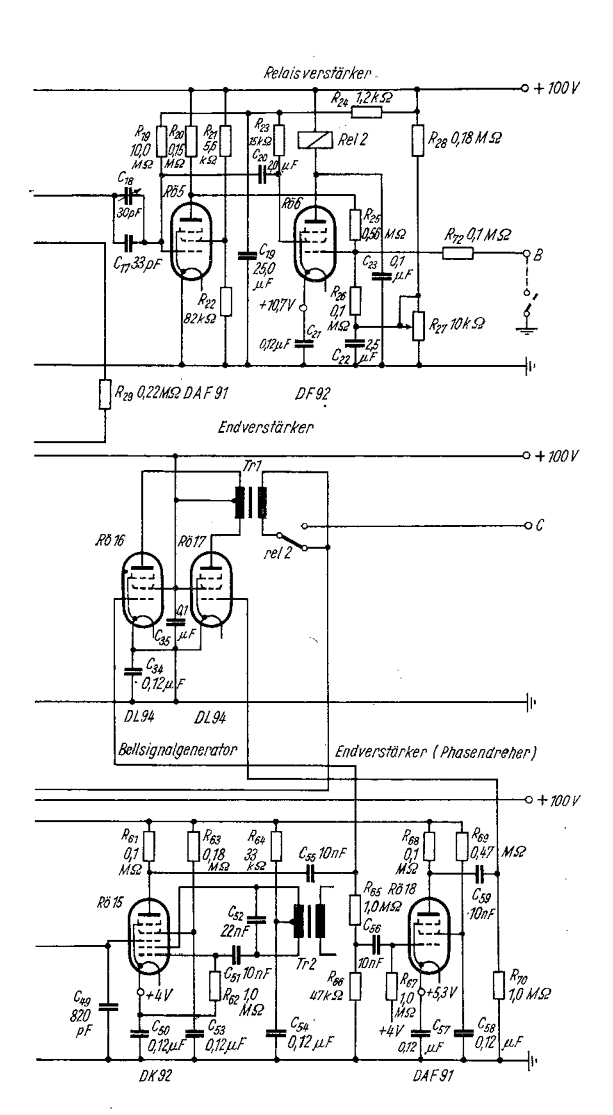


Bild 9.2. Röhrenschaltung des akustischen Ortungsgeräts (nach Bruinsma)



Relaisverstärker
+ 100 V
R24 1,2 kΩ
R19 10,0 MΩ
R20 0,15 MΩ
R21 5,6 kΩ
R23 15 kΩ
C20 20 μF
Rel 2
R28 0,18 MΩ
C18 30 pF
Rö5
Rö6
R25 0,56 MΩ
R72 0,1 MΩ
B
C17 33 pF
C19 25,0 μF
C23 0,1 μF
R22 82 kΩ
+10,7 V
R26 0,1 MΩ
R27 10 kΩ
0,12 μF C21
C22 2,5 μF
R29 0,22 MΩ DAF 91
DF 92
Endverstärker
+ 100 V
Tr1
C
Rö 16
Rö 17
rel 2
0,1 μF
C35
C34 0,12 μF
DL 94
DL 94
Bellsignalgenerator
Endverstärker (Phasendreher)
+ 100 V
R61 0,1 MΩ
R63 0,18 MΩ
R64 33 kΩ
C55 10 nF
R68 0,1 MΩ
R69 0,47 MΩ
Rö 15
C52 22 nF
R65 1,0 MΩ
Rö 18
C59 10 nF
C56
C51 10 nF
Tr 2
10 nF
R66 47 kΩ
R67 1,0 MΩ
+5,3 V
R70 1,0 MΩ
C49 820 pF
+4 V
R62 1,0 MΩ
C50 0,12 μF
C53 0,12 μF
C54 0,12 μF
+4 V
C57 0,12 μF
C58 0,12 μF
DK 92
DAF 91

höhere Frequenz ist unzweckmäßig, weil dann die Wirkungsgrade von Lautsprecher und Mikrofon zu klein werden. Der Muttergenerator tastet alle 2 s den Impulsgenerator auf. Weiterhin steuert er einen Tongenerator, der in den Intervallen zwischen den Ortungsimpulsen noch ein Bellen imitiert. Die Synchronisiersignale zur Ansteuerung des Verzögerungskreises werden aus den Impulsen des Ortungssystems abgeleitet. Nach einer Zeit von 500 μs gelangt der Impuls zum Auftastgenerator, der eine Röhre im Empfangskreis für die Dauer von 6 ms aufsteuert. Im Empfangskreis befindet sich ein Kristallmikrofon, dem ein Selektivverstärker für 10 kHz nachgeschaltet ist. Für weitere Reaktionen der Schaltung werden also nur diejenigen reflektierten Signale ausgewertet, die innerhalb des Auftastintervalls von 6 ms liegen. Diese Signale bewirken ein Umschalten des Relais, das nach einer gewissen Verzögerungszeit wieder in den Ruhestand zurückfällt. Das beschriebene System mißt also nicht die Entfernung zu einem beliebigen Gegenstand, sondern signalisiert nur als Ja/Nein-Anzeige, ob sich im Umkreis von 1 m ein Hindernis befindet. Bild 9.2 zeigt die Gesamtschaltung des akustischen Ortungsgeräts nach Bruinsma. Rö 13 und Rö 14 bilden den Muttergenerator. Dieser liefert eine Rechteckspannung mit der Folgefrequenz von 0,5 Hz. Der negative Teil der Spannung an der Anode von Rö 13 gelangt über C 42 an den Impulsgenerator (Rö 11 und 12). Dieser Generator ist ein Univibrator; die Zeit, während der die Kontakte des Relais Rel 1 geschlossen bleiben, hängt von der Zeitkonstante des Kreises C 41, R 52 ab (etwa 0,3 s). Schwingungen mit einer Frequenz von 10 kHz werden über die Kontakte des Relais Rel 1 in folgender Weise dem Lautsprecher zugeführt. Wenn die Relaiskontakte geöffnet sind, wird C 37 über R 45 auf die Batteriespannung von 100 V aufgeladen. Beim Schließen des Relaiskontakts entlädt sich C 37 über die Drossel Dr 1, den Widerstand R 46 und die Schwingspule des Lautsprechers. Durch die im Kreis vorhandene Induktivität, gebildet durch Dr 1 und die Schwingspule des Lautsprechers, erfolgt die Entladung oszillierend in Form einer gedämpften 10-kHz-Schwingung.

Mit dieser einfachen mechanischen Stoßerregung ergibt sich auf einfache Weise eine hohe Impulsleistung. Die in C 37 gespeicherte Energie beträgt $0{,}5 \cdot C \cdot U^2 = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 100 = 0{,}0025$ Ws. Da diese Energie während der Zeitspanne von 100 μs (solange dauert die abklingende Schwingung) umgesetzt wird, entspricht das einer Impulsspitzenleistung von 25 W. An R 46 greift man über C 38 den Triggerimpuls für die Verzögerungsschaltung ab. Die Verzögerungsschaltung mit Rö 7 und Rö 8 stellt wieder einen Univibrator dar, dessen Kippzeit das Glied R 30/C 24 auf annähernd 500 μs festlegt. Diese Verzögerungszeit ist notwendig, damit der Empfangsverstärker während der Dauer des Sendeimpulses und noch etwas danach sicher sperrt. Über C 28 gelangt der verzögerte Triggerimpuls an den Auftastgenerator. Dieser – wieder ein Univibrator – erzeugt ein Zeitintervall von 6 ms; so lange wird das Schirmgitter der Auftaströhre mit der Anode von Rö 9 über R 29 verbunden; nur jetzt kann Rö 4 verstärken. Während der übrigen Zeit ist die Schirmgitterspannung von Rö 4 gering, und es gelangt keine NF-Spannung in die folgenden Stufen. Der Empfangsverstärker hat, verglichen mit üblichen NF-Verstärkern, folgende Besonderheiten aufzuweisen:

— Die Werte der Koppelkondensatoren C 1, C 4, C 8 und C 13 sind sehr klein. Damit wird die Verstärkung für Frequenzen unterhalb 10 kHz stark herabgesetzt.
— Der Verstärker enthält den Resonanzkreis L 1/C 9, der auf eine Frequenz von 10 kHz abgestimmt ist.
— Im Gitterkreis von Rö 4 liegt ein Amplitudenbegrenzer mit Dioden, der die Ausgangs-NF-Amplitude auf etwa 1,3 V begrenzt.

Der Stufe Rö 4 schließt sich wieder ein Verstärkerzug an, der eine Ansprechzeit von 3 s für das Relais Rel 2 hat. Rel 2 schaltet bei Vorhandensein eines Hindernisses auf Rückwärtsgang um. Wenn das kybernetische Modell beim Rückwärtsfahren an ein Hindernis stößt, so wird durch einen Mikroschalter der Punkt B geerdet und damit der Univibrator in den ursprünglichen Zustand zurückgebracht, so daß das Modell wieder vorwärts fährt. R 27 stellt die Empfind-

lichkeit dieses Reaktionskreises ein. In dem Moment, wenn die Anodenspannung von Rö 13 abfällt und der Ortungszyklus beginnt, bleibt die Steuergitterspannung von Rö 14 auf Grund der Entladung von C 47 negativ. Dieses Gitter ist über das Glied R 59/C 49 mit dem dritten Gitter der Mischröhre Rö 15 verbunden; Rö 15 sperrt somit. Die ersten beiden Gitter dieser Heptode Rö 15 sind über den Schwingkreis C 52/Tr 2 in Dreipunktschaltung als Oszillator geschaltet. Wenn das dritte Gitter von Rö 15 negatives Potential hat, ist die Röhre gesperrt, und die Schwingspannung erreicht nicht die Anode. Die Gitterspannung von Rö 14 und damit auch die Spannung am dritten Gitter von Rö 15 steigt exponentiell an; demzufolge steigt auch die Tonfrequenzspannung an der Anode von Rö 15. Dadurch gelangt die Tonfrequenzspannung an das Steuergitter von Rö 16 und über einen Phasenschieber mit Rö 18 an das Gitter der zweiten Endverstärkerröhre Rö 17. Bei geschlossenem Kontakt rel 2 (d. h., wenn ein reflektiertes Signal empfangen worden ist) gibt der Lautsprecher ein „Bellsignal“ ab; das Hindernis wird „angebellt“. Bild 9.3 gibt noch die Impulsformen des akustischen Ortungsgeräts wieder. Im einzelnen stellen die Kurvenformen folgendes dar:

1. Spannung des Muttergenerators;
2. Spannung des Impulsgenerators;
3. Stromimpulse der Frequenz 10 kHz am Widerstand R 46;

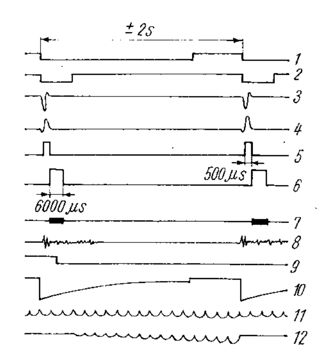


Bild 9.3.
Impulsformen beim akustischen Ortungssystem

4. positiver Synchronisierimpuls, aus 3. abgeleitet;
5. Verzögerungsimpuls 500 μs;
6. Auftastimpuls 6 ms;
7. Taktgeberimpulse (während dieser Impulse ist die Auftaströhre gesperrt);
8. sondierende Impulse des Lokators (Ortungsgeräts) und Reflexionen am Gitter der Auftaströhre;
9. Spannung im Reaktionskreis bei reflektiertem Signal;
10. Spannung am Gitter der Generatorröhre für das „Bellsignal";
11. Signalspannung des „Bellgenerators";
12. resultierendes „Bellsignal" am Lautsprecher.

Bei den letzten vier Spannungsverläufen ist ein anderer Zeitmaßstab verwendet worden.

Unter Verwendung moderner Kleinbauteile und Transistoren kann man dieses technisch doch recht komplizierte „Sinnesorgan" räumlich klein aufbauen. Das Schallortungssystem der Fledermäuse läßt sich technisch noch schwerer nachbilden. Der Mensch konnte es erst in den letzten Jahren nachahmen und gelangte so zu einer neuen Klasse von Radargeräten, den sogenannten Impulskompressions- oder Chirp-Geräten. Selbstverständlich kann man die gegebenen prinzipiellen Hinweise auf konkrete praktische Fälle in geeigneter Weise übertragen, so z. B. als Einbruchssicherung für einen Panzerschrank, als Näherungswarngerät für ein Fahrzeug usw.

10. Die elektronische Katze – Nachbildung des bedingten Reflexes

Beim Studium der höheren Nerventätigkeit entdeckte der sowjetische Physiologe I. P. Pawlow den bedingten Reflex. Auf der Grundlage dieses bedingten Reflexes kann ein Organismus lernen. Als Beispiel hierfür läßt sich ein kybernetisches Katzenmodell aufbauen, das in folgender Weise reagiert: Die durch zwei Glühlampen gebildeten „Augen" eines Katzenmodells verlöschen, wenn ein Lichtstrahl auf den „Kopf" der Katze fällt. Gibt man kurz vor dem Beleuchten ein Tonsignal, so entsteht bei ausreichend oft erfolgter Wiederholung beider Signale eine innere Verknüpfung. Die Katze wartet also nach dem Tonsignal auf das Licht und schließt nach dem „Lernen" auch dann die „Augen", wenn nur der Ton eintritt. Bleibt später jedoch das Licht mehrere Male aus, so „vergißt" die Katze diese Zusammenhänge wieder.

Das Blockschaltbild (Bild 10.1) zeigt die grundsätzliche Funktion. L sind die beiden die Augen darstellenden Glühlämpchen. Sie leuchten im nichterregten Zustand, d. h., das Katzenmodell hat die „Augen" geöffnet. Wird der Fotowiderstand F von einem Lichtstrahl (beispielsweise einer Taschen-

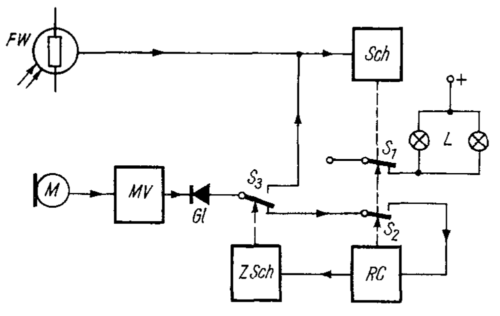


Bild 10.1. Blockschaltung eines kybernetischen Modells des bedingten Reflexes (Katze)

lampe) getroffen, so öffnet der Schalter Sch. Der zugehörige Kontakt S 1 trennt den Lampenstromkreis auf, und die Lampen verlöschen (das Katzenmodell „schließt" die Augen). Schalter S 2 wird gleichzeitig mit Kontakt S 1 geschlossen. Ein gleichzeitig mit dem Lichtstrahl erzeugter Pfiff wird vom Mikrofon M empfangen, im Mikrofonverstärker MV verstärkt, von der Diode Gl gleichgerichtet sowie über S 3 und S 2 zu einem Integrierglied geleitet. Dieses aus R und C bestehende Glied bewirkt, daß sich die am Kondensator stehende Spannung von Pfiff zu Pfiff vergrößert, bis sie zur Auslösung des Zeitschalters ausreicht. Wenn der Zeitschalter ausgelöst wird, dann betätigt er den Kontakt S 3 und hält ihn eine bestimmte Zeit lang geschlossen. Hat S 3 umgeschaltet, so gelangen alle Gleichstromimpulse von M über MV, Gl zum Schalter Sch. Darum kann nunmehr mit Hilfe eines Pfiffes der Schalter Sch betätigt werden, ohne daß ein Lichtstrahl auf den Fotowiderstand F treffen muß. Nach Ablauf der Haltezeit des Zeitschalters – das entspricht der Lerndauer bis zum Vergessen – wird der Anfangszustand des kybernetischen Modells für den bedingten Reflex wiederhergestellt.

Die einzelnen Baugruppen sind als Steckbausteine nach dem Vorbild der käuflich erhältlichen Amateurelektronik-Baugruppen des VEB Meßelektronik Berlin aufgebaut. Durch die Gestaltung der einzelnen Baugruppen als steckbare Einheiten erreicht man eine größere Universalität der Geräte und beim Aufbau mehrerer Modelle auch eine Verbilligung, da die Gruppen nacheinander in die verschiedenen Modelle gesteckt werden können. Näheres zur Bausteintechnik findet man in der Broschüre von K. Schlenzig, Bausteintechnik für den Amateur, Band 41 dieser Reihe. Der Mikrofonvorver-

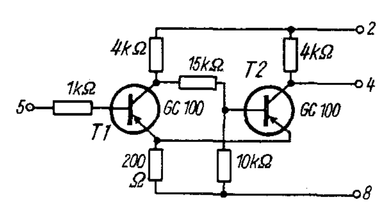


Bild 10.2.
Baugruppe des Schmitt-Triggers (STr)

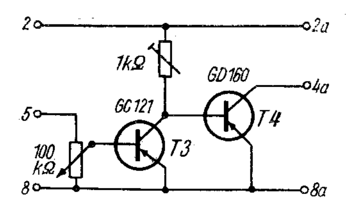


Bild 10.3.
Baugruppe des
Gleichstromverstärkers
(GV)

stärker ist der gleiche Baustein, wie er bereits im Schildkrötenmodell verwendet wurde (Bild 5.8). Die in Klammern angegebenen Nummern der Anschlüsse sind im Gesamtschaltbild des kybernetischen Katzenmodells (Bild 10.6) eingezeichnet. Als Transistoren können NF-Typen, etwa GC 101 mit Stromverstärkungsfaktoren von 30 bis 50 in Emitterschaltung benutzt werden. Bild 10.2 zeigt die Baugruppe des Schmitt-Triggers (STr), die insgesamt zweimal vorkommt. Die Schaltung ist gleichstromgekoppelt und für β-Werte größer als 30 ausgelegt. Alle Widerstände haben $^1/_{10}$ W Belastbarkeit. Die Baugruppe Gleichstromverstärker (GV), die an Stelle des Schalters Sch (Bild 10.1) benutzt wird, zeigt Bild 10.3. Mit einem Potentiometer 100 kΩ regelt man die Ansprechempfindlichkeit ein. Durch den Regler 1 kΩ im Kollektorkreis des GC 121 wird der Ruhestrom des Leistungstransistors GD 160 und damit die Helligkeit der Glühlämpchen (3,8 V/0,07 A) eingestellt. Der Gesamtstrom durch die Glühlämpchen beträgt rund 130 mA, bei dieser geringen Belastung benötigt der GD 160 noch keine Kühlfläche. Bild 10.4 stellt die Baugruppe des Zeitschalters (ZSch) dar. Der Zeitschalter spricht unmittelbar an und hält sich so

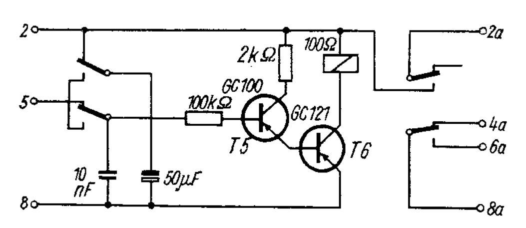


Bild 10.4. Baugruppe des Zeitschalters (ZSch)

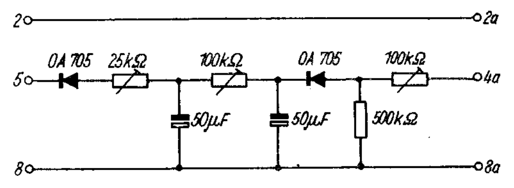


Bild 10.5. Baugruppe des Zeitglieds (ZGl)

lange, bis der auf die Betriebsspannung aufgeladene Elektrolytkondensator von 50 μF wieder so weit entladen ist, daß das im Kollektorkreis des GC 121 angeordnete Relais abfällt. Bild 10.5 zeigt die Baugruppe des Zeitglieds (ZGl). In diesem wird die als Integrator aufzufassende RC-Kombination langsam aufgeladen. Erfolgen mehrere Impulse (etwa 5 bis 10) durch mehrere Pfiffe bei gleichzeitiger Beleuchtung des Fotowiderstands, so steigt die Ladung am zweiten Kondensator des R/C-Glieds immer mehr an. Ist die Ladespannung ausreichend, so wird der zweite Schmitt-Trigger ausgelöst. Vom Ausgang 4 des Schmitt-Triggers 2 wird ein Signal zum Anschluß 5 von ZSch gegeben. Der Kontaktsatz des Relais von ZSch schaltet nun den Ausgang des ersten Schmitt-Triggers auf den Fotowiderstandanschluß 5 von GV

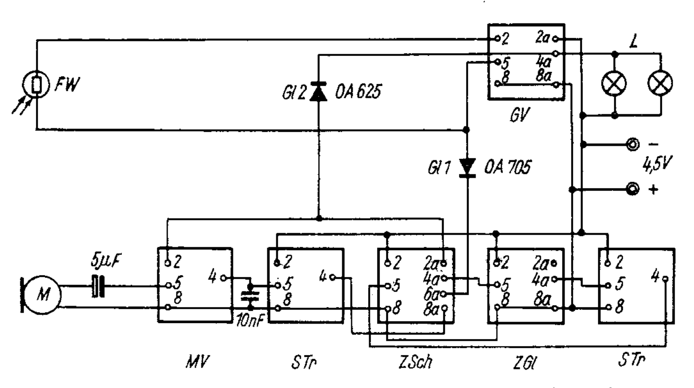


Bild 10.6. Gesamtschaltung des kybernetischen Katzenmodells (Verdrahtung der einzelnen Baugruppen)

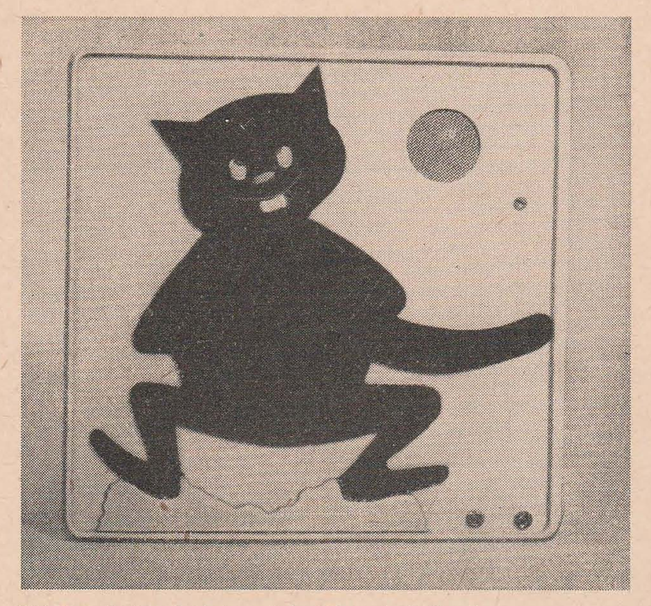


Bild 10.7. Ansicht der kybernetischen Katze (nach Oettel)

um. Die Diode Gl 1 entkoppelt den Zeitschalter und den Gleichstromverstärker. Über den Kontaktsatz des Zeitschalters wird der Mikrofonvorverstärker mit der Speisespannung versorgt. Damit ist gewährleistet, daß bei einem Pfiff das Signal von STr den Gleichstromverstärker betätigt und die „Augen zum Schließen" bringt.
Erstmalig wurde ein solches kybernetisches Modell des bedingten Reflexes in der sowjetischen Fachzeitschrift „Radio", Jahrgang 1957, veröffentlicht, jedoch röhrenbestückt. Erst durch die Transistorisierung der Einzelfunktionen, wie sie Oettel durchgeführt hat, wird das Modell für weite Kreise von Amateuren realisierbar. Die Stromversorgung aus dem Starkstromnetz, die für junge Amateure gefährlich werden könnte, fällt weg, und das ganze Modell kann mit einer Taschenlampen-Flachbatterie betrieben wer-

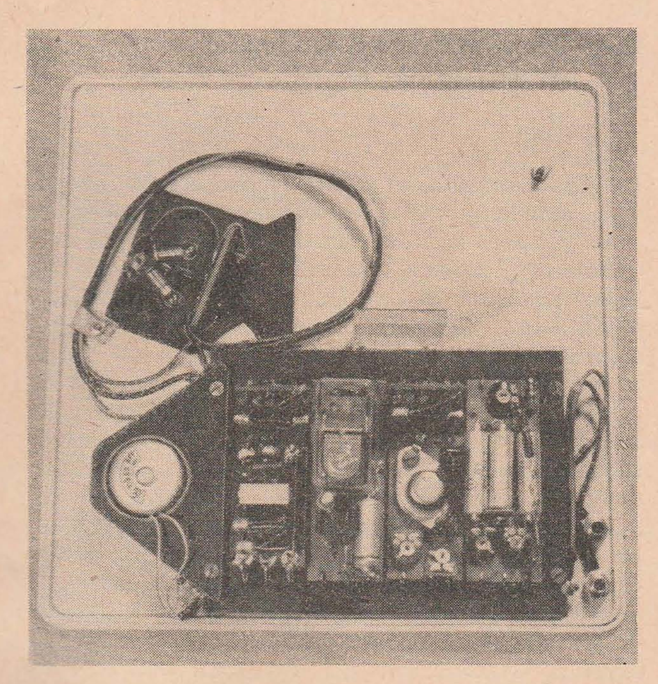


Bild 10.8. Blick auf die einzelnen Baugruppen der kybernetischen Katze (nach Oettel)

den. Die Stromaufnahme ist – wie auch bei der Schildkröte (ohne Antrieb) – sehr klein, so daß das Modell wirtschaftlich arbeitet.

11. Kybernetisches Fahrmodell mit Gedächtnis

Die bisher beschriebenen Schaltungsvorschläge für kybernetische Modelle gestatten den Aufbau vieler Varianten. Es sollen nun noch kurz die elektronischen Baugruppen eines westdeutschen Modells „mit positivem Fototropismus und bedingtem Reflex" beschrieben werden. Für den Suchkopf (optisch) wird eine einfache binokulare Version mit zwei Kadmium-Sulfid-Widerständen benutzt. Man nennt die gesteuerte Zuwendung zu einer Lichtquelle „positiven Fototropismus". Auf der Grundlage dieses Effekts wachsen die Blumen der Sonne entgegen. Wenn sich der betreffende Organismus von Licht wegwendet, spricht man von „negativem Fototropismus". Der Suchkopf würde dann die dunkelste Stelle der Umgebung suchen. Außer lichtempfindlich ist das beschriebene Modell noch wärme- und schallempfindlich. Ein Thermistor dient als Wärmefühler, ein piezoelektrisches Mikrofon als Schallempfänger. Für die beiden Reize „Wärme" und „Schall" ist ein Speicher mit Verkopplung eingebaut, bei dem man durch Drücken einer „Lerntaste" den „bedingten Reflex" in Tätigkeit setzen kann. Damit Umgebungsgeräusche nicht stören, wurde der NF-Verstärker selektiv gestaltet und eine Mittelfrequenz von 1700 Hz gewählt. Verschiedenfarbige Lämpchen und ein Summer versinnbildlichen die Reaktionen des kybernetischen Modells. Fällt beispielsweise Wärme auf den Thermistor, dann zieht Rel 4 an, und über den Kontakt 4/1 wird eine rote Lampe angeschaltet. Der Kontakt 4/2 bringt das Relais Rel 5 zum Ansprechen; es schaltet den Antriebsmotor ab und einen Summer ein. Das Modell bleibt also stehen, eine rote Lampe leuchtet auf, und ein Summton ertönt.

Wenn ein Pfiff mit der Frequenz 1700 Hz auf das Modell trifft, so wird der selektive NF-Verstärker ausgesteuert, und Rel 3 zieht an. Da 4/1 offen ist, hat der Kontakt 3/1 keine Wirkung. 3/2 schaltet das Relais Rel 6 an, und Kontakt 3/3

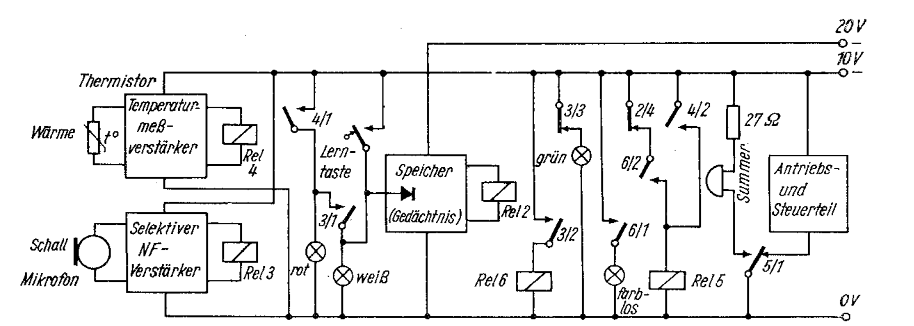


Bild 11.1. Übersichtsschaltung des kybernetischen Modells

bringt eine grüne Lampe zum Aufleuchten. Der Kontakt 6/1 schaltet noch eine farblose Lampe ein, und über den im Ruhezustand geschlossenen Kontakt 2/4 sowie über den Arbeitskontakt 6/2 wird Rel 5 erregt. Das bewirkt wiederum, daß der Antriebsmotor anhält und ein Summton einsetzt. Die Schlüsselbaugruppe für den „bedingten Reflex" ist der Speicher oder das „Gedächtnis". In ihm können durch RC-Glieder die „Gedächtnisdauer" und die „Lerndauer" voneinander unabhängig eingestellt werden. Wenn das Modell bei öfterem, gleichzeitigem Auftreten von Schall und Wärme „gelernt" hat, genügt später zum Hervorrufen des gleichen Funktionsablaufs das Vorhandensein des Wärmereizes allein. Ist die „Gedächtnisperiode" abgelaufen, dann reagiert das Modell ohne „bedingten Reflex", und es muß erst wieder neu „lernen". Bei dem hier beschriebenen Modell werden also „Schildkröte" und „Katze" zu einem neuen selbstfahrenden kybernetischen Modell verbunden.
Bild 11.2 zeigt die Schaltung des Selektivverstärkers für 1700 Hz. Der aus drei direkt gekoppelten Stufen bestehende Vorverstärker bewirkt eine breitbandige Verstärkung und Widerstandsanpassung. Die ersten beiden Stufen sind Emitterstufen, die letzte eine Kollektorstufe. Die Selektion erfolgt in der letzten Stufe. Der Schwingkreis wird mit einem Styroflexkondensator und einem Ferritschalenkern verlustarm aufgebaut. Die Diode OA 780 richtet die Tonfrequenz gleich.

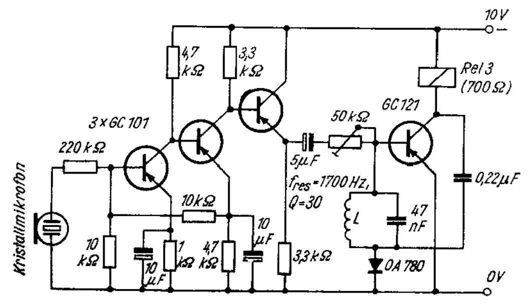


Bild 11.2. Baugruppe 1 – Selektiver NF-Verstärker

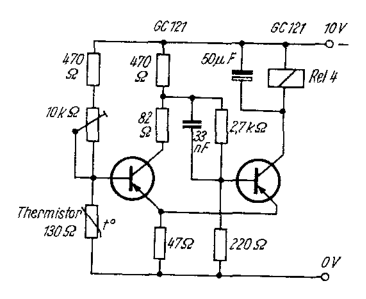


Bild 11.3. Baugruppe 2 – Temperaturmeßverstärker (modifizierter Schmitt-Trigger)

In Bild 11.3 ist die Schaltung des Temperaturmeßverstärkers angegeben. Es handelt sich um eine modifizierte Schmitt-Trigger-Schaltung. Es wurde bereits eine analoge Röhrenschaltung genannt. Der Vorteil des Einsatzes eines Schmitt-Triggers als Temperaturmeßverstärker liegt darin, daß bereits kleine Änderungen des Thermistorwiderstands ein einwandfreies Ansprechen des Relais Rel 4 ergeben. Es wird in diesem Fall nur eine Ja/Nein-Steuerung verlangt, und deshalb ist kein linearer Meßverstärker erforderlich. Mit dem Regelwiderstand 10 kΩ stellt man den Arbeitstemperaturbereich der Triggerstufe ein. Die Werte der Schaltelemente sind für Stromverstärkungswerte größer als 30 für die Transistoren bemessen.

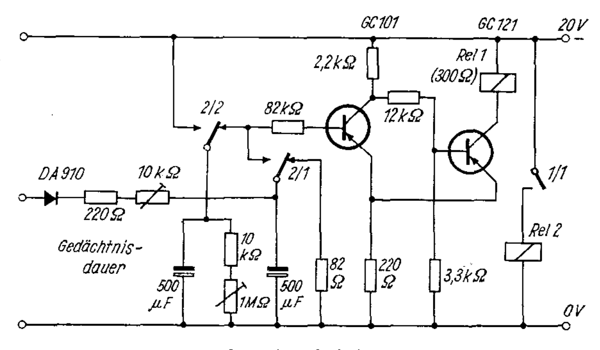


Bild 11.4. Baugruppe 3 – Speicher oder „Gedächtnis"

Die Baugruppe 3 (Gedächtnis) ist in Bild 11.4 dargestellt. Der auch hier wieder als Kern der Schaltung benutzte Schmitt-Trigger mit Rel 1 wird, wenn Rel 2 angezogen ist, nach einiger Zeit zum Abfallen gebracht. Das verzögerte Anziehen der Stufe bewirkt das Zeitkonstantenglied, das am Kontaktsatz 2/1 liegt. Während Rel 2 angezogen ist (durch Rel 1 gesteuert), wird das am Kontakt 2/2 liegende RC-Netzwerk an der Speisespannung aufgeladen, und nach dem Abfallen von Rel 2 klingt seine Ladung exponentiell an der Basis des linken Transistors ab.

Die Baugruppe 4 (Bild 11.5) stellt die Antriebs- und Steuereinheit dar. Über den Umschaltkontakt 5/1 erhält die Steuerschaltung nur dann Strom, wenn kein Schall- oder Wärmereiz auf das Modell wirkt. Die Fotowiderstände 1 und 2 sind einfach in Reihe mit empfindlichen Relais an die Speisespannung von 10 V gelegt. Fällt auf die eine Seite mehr Licht, dann zieht beispielsweise Rel 7 an, und der Suchmotor dreht in eine durch die Lage der Umschaltkontakte 7/1 und 8/1 bestimmten Richtung. Sobald bei der weiteren Drehung mehr Licht auf die andere Fotozelle fällt, zieht deren Relais Rel 8 an und kehrt die Drehrichtung des Motors um. Das die Fahrtrichtung bestimmende steuernde Rad ist mit dem Suchkopf zusammen als bauliche Einheit ausgeführt, während der Antriebsmotor die beiden Hinterräder des Dreirad-Fahrmodells antreibt. Die Ebene des steuernden Rades fällt mit der Sehachse, die durch die bei-

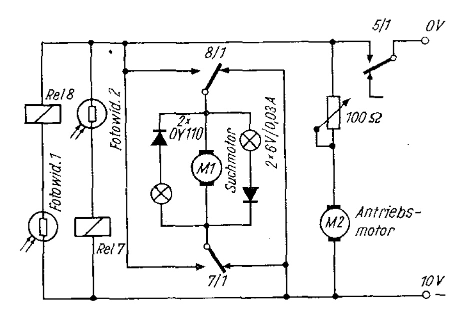


Bild 11.5. Baugruppe 4 – Antriebs- und Steuerteil

den Fotowiderstände mit Linsensystemen gebildet wird, zusammen, so daß durch die hin- und herdrehende Wirkung des Steuermotors M 1 das Modell immer in Richtung auf die Lichtquelle zu läuft. In welcher Richtung der Steuermotor läuft, kann mittels zweier über Gleichrichter angeschalteter Glühlämpchen erkannt werden. Man kann ihre Farbe unterschiedlich wählen. Mit dem Regelwiderstand 100 Ω vor M 2 regelt man die Fahrgeschwindigkeit modellgerecht ein. Bei absinkender Batteriespannung läßt sich dieser Einfluß auch mit dem Potentiometer kompensieren. Das Modell kann ebenfalls in Bausteintechnik realisiert werden, die äußere Gestaltung ist dem Erbauer überlassen.

12. Einfache Schaltungen mit Logik-Elementen

Wir verlassen nun das Gebiet der kybernetischen Fahrmodelle, die demonstrieren sollten, daß Lebewesen sich an die Umgebung nach regelungstechnischen Gesichtspunkten anpassen und daß wir heute in der Lage sind, diese Prozesse elektronisch nachzubilden sowie die einfachsten Verhaltensweisen zu deuten.
Zur Kybernetik gehört auch die Rechentechnik. Diese benutzt elektronische Schaltungsbausteine für die logischen Grundoperationen UND, ODER, NICHT-UND und NICHT-ODER. Derartige Grundbausteine sind Tore, Multivibratoren, Inverter und Verstärker. Im Zusammenhang mit der elektronischen Rechentechnik sind derartige Bausteine von Claus Goedecke in Band 53 dieser Reihe, Elektronisches Rechnen für den Amateur, beschrieben worden. Hier sollen nur zwei Beispiele für die Anwendung außerhalb der Rechentechnik gebracht werden.
Es sei die Aufgabe gestellt, vier Relais, A, B, C und D, über einen Umschalter 1 mal 5 so zu schalten, daß in der Stellung 1 kein Relais angezogen hat, in Stellung 2 das Relais A, in Stellung 3 die Relais A und B usw., bis in Stellung 5 alle vier Relais angezogen sind. Unter Verwendung von drei Dioden als Tore kann man die Aufgabe ganz einfach lösen, wie Bild 12.1 zeigt. In Stellung 1 bekommt die

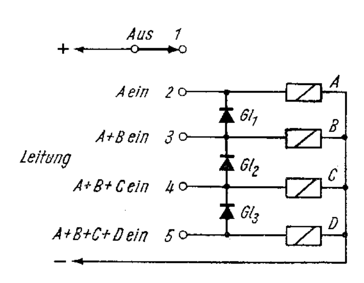


Bild 12.1.
Schaltung mit Diodenlogik-Elementen

Relaiskette keinen Strom, alle vier Relais sind abgefallen. Schaltet man auf Stellung 2 um, dann erhält Relais A Strom, die übrigen Relais nicht, da sie über in Sperrichtung liegende Flächendioden angeschaltet sind und nur der geringe Diodenreststrom fließen kann, der zum Anzug eines Relais nicht ausreicht. Schaltet man in Stellung 3 um, dann bekommt das Relais B direkt Strom, und Relais A erhält über den nun in Durchlaßrichtung liegenden Gleichrichter Gl 1 Strom. Der geringe Widerstand in Flußrichtung der Diode kann vernachlässigt werden. In gleicher Weise laufen die Vorgänge ab, wenn man weiterschaltet. In Stellung 5 erhält Relais D direkt Strom, während C über Gl 3, B über die Serienschaltung von Gl 2 und Gl 3 und A schließlich über die Serienschaltung von Gl 1, 2 und 3 Strom bekommen. Unter Verwendung von Dioden als Logik-Elemente ist es also möglich, eine komplizierte Relaisschaltung zu vereinfachen. Eine andere Schaltung mit Relaislogik zeigt Bild 12.2. Es handelt sich um ein elektrisches Sicherheitsschloß, das nur durch Wahl dreier dreistelliger Ziffern in richtiger Reihenfolge zu öffnen ist. Das Gerät hat drei einpolige Umschalter mit je 12 Stellungen, zwei Relais und einen Rückstellknopf. Es wird mit 12 V Gleichstrom betrieben. Die beiden Relais haben Wicklungswiderstände von 500 Ω und Federsätze mit

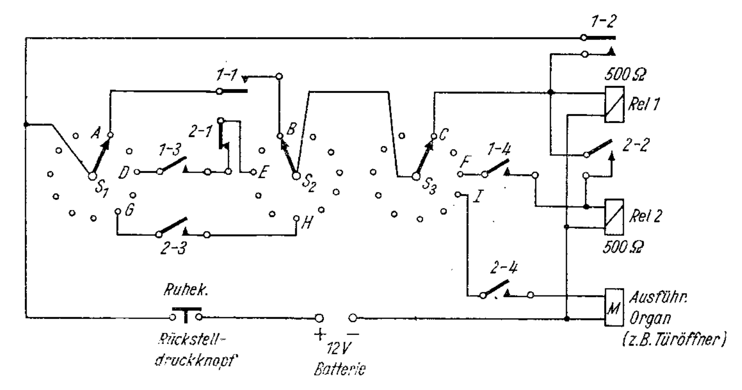


Bild 12.2. Elektrische Kombinationssicherung (Relaislogik-Element)

Arbeits- und Folgekontakten. Unter einem Folgekontakt versteht man eine aus einem Ruhe- und einem Arbeitskontakt zusammengesetzte Einheit, bei der zeitlich zuerst der Arbeitskontakt schließt, ehe der Ruhekontakt öffnet. Die Funktion dieser Schaltung ist folgende: Man wählt zunächst die erste dreistellige Ziffer, indem man die drei Drehschalter in die Stellung A–B–C schaltet. Dann fließt Strom durch Rel 1 über den geschlossenen Kontakt 1–1; Rel 1 zieht an und hält sich selbst über den Arbeitskontakt 1–2. 1–1 bildet mit 1–2 einen Folgekontakt. Die Arbeitskontakte 1–3 und 1–4 schließen, wenn 1–1 offen ist. Die Einstellung der zweiten dreistelligen Zahl D–E–F erregt die Spule von Rel 2 über die Kontakte 1–3, 1–4 und 2–1. Durch 2–2 hält sich Rel 2 selbst. Zur selben Zeit öffnet der Kontakt 2–1, und 2–3 sowie 2–4 schließen. Die Wahl der dritten dreistelligen Zahl G–H–I vollendet die Schaltung und setzt das ausführende Organ in Betrieb (z. B. Türöffner, Motorrelais usw.). Die drei dreistelligen Zahlen müssen in der richtigen Reihenfolge gewählt werden, da sonst eine Blockierung die Betätigung des ausführenden Organs verhindert. Wird z. B. die zweite Zahl vor der ersten gewählt, so kann Rel 2 nicht arbeiten, da der Kontakt 1–3 offen ist. Mit dem Ruhedruckknopf für die Rückstellung kann die Schaltung in den ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden. Führt man die Schalterkontakte an ein Programmierfeld, d. h. an ein Buchsenfeld, auf dem sich beliebige Verbindungen stecken lassen (beispielsweise durch ein Nagelbrett mit kodierter geometrischer Anordnung der Kontaktstifte), dann kann man auf einfache Weise den Kode des Schlosses wechseln. Die folgerichtige Kombination dreier dreistelliger Zahlen ergibt genügend Sicherheit vor unbefugter Betätigung.

13. Abblendautomatik für Kraftfahrzeuge

Auch diese einfache Schaltung gehört ins Gebiet der Kybernetik. Bei Wahrnehmung einer Lichtquelle soll eine automatische Umschaltung der Scheinwerfer des eigenen Fahrzeugs auf Nahlicht erfolgen. Dazu muß ein „Sinnesorgan" mit einem Betätigungsorgan geeignet gekoppelt werden. Die Automatik muß so ausgelegt sein, daß man den Fußabblendschalter auch unabhängig von dieser betätigen kann. Die Schaltung eines ausgeführten Geräts zeigt Bild 13.1. Bei der vorliegenden Schaltung handelt es sich um einen dreistufigen Gleichstromverstärker mit Relaisausgang. Trifft Licht auf den Kadmium-Sulfid-Fotowiderstand, dann verringert sich dessen Widerstand, und T 1 öffnet. Das Kollektorpotential von T 1 wird positiver und damit der Stromfluß

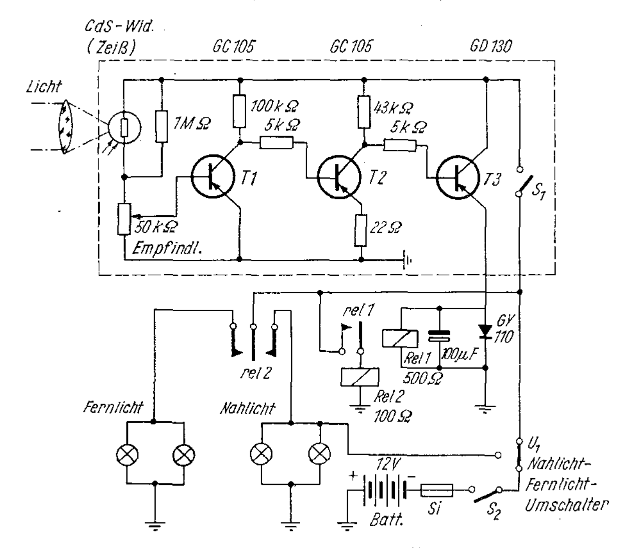


Bild 13.1. Abblendautomatik für Kraftfahrzeuge

in T 2 verringert. Dadurch verkleinert sich der Spannungsabfall am Kollektorwiderstand 43 kΩ, und die Basis von T 3 wird somit negativer. T 3 ist als Emitterfolger geschaltet, der Emitterstrom betätigt dann Rel 1. Sobald also Licht einfällt, zieht Rel 1 an. Damit wird das Leistungsrelais Rel 2 betätigt, dessen Umschaltkontakt von Fern- auf Nahlicht umlegt. Die optische Auslegung mit Sammellinse muß so erfolgen, daß nur das Licht eines entgegenkommenden Fahrzeugs die Automatik betätigt und der Einfluß von Straßenlaternen und sonstigen Lichtquellen nahezu ausgeschaltet ist. Das „Gesichtsfeld" der Optik soll etwa 20 bis 30 Grad betragen. Mit dem Schalter S 1 kann die Automatik abgeschaltet werden, S 2 stellt den Lichtschalter des Kraftfahrzeugs dar. Mit U 1 kann weiterhin die Fußumschaltung Nah/Fern erfolgen; auch U 1 ist im Fahrzeug fest eingebaut. Das Eingangspotentiometer gestattet eine Einstellung des Schwellwerts der Automatik. Bei der praktischen Erprobung muß die Empfindlichkeit so gewählt werden, wie es die Fahrsicherheit erfordert. Der technische Aufwand ist nicht so groß, das kleine Gerät arbeitet zuverlässig. Mit geändertem optischem System kann es auch als Dämmerungsschalter für eine Parklichtautomatik dienen. Der aufmerksame Leser wird ähnliche optische „Sinnesorgane" bereits in dieser Broschüre in ähnlicher Form gefunden haben. Da das Gerät nur eine Ja/Nein-Information zu verarbeiten hat, gehört es zu den einfachsten kybernetischen Geräten. Wollte man mit solchen Baugruppen beispielsweise ein Insektenauge (Facettenauge) nachbilden, dann müßten mehrere tausend solcher „Lichtrelais" in Kugelform angeordnet werden. Das Insekt registriert Bewegungen durch die zeitlich nacheinander erfolgende Lichtstärkenänderung benachbarter Facettenzellen. Das Sehen erfolgt nicht durch optische Abbildung mittels Linse. Man sieht auch an diesem Beispiel, daß die Technik heute noch weit von einer exakten Nachbildung der Sinnesorgane entfernt ist. Auch die Mikroelektrik führt noch nicht zur funktionellen Analogie, in der Natur geschieht das auf wesentlich kleinerem Raum.

14. Elektronische Steuerung eines Nachlaufmotors (Stellglied)

Beim lebenden Organismus erfolgt eine Reaktion auf Reize der Außenwelt in folgender Form: Die Rezeptoren leiten den Reiz ins Gehirn, dort erfolgt eine Auswertung, und als Gegenmaßnahme werden die motorischen Nerven in Tätigkeit gesetzt, die z. B. eine Armbewegung steuern. Das letzte Glied dieser Regelkette ist also ein Kraftglied, während die Reizleitung mit sehr geringen Energien erfolgt. Ähnlich verfährt man in der Technik, wo z. B. eine schwere Antenne oder ein Flakgeschütz elektrisch ferngesteuert wird. Als Kraft- oder Stellglied verwendet man Motoren, die ihre elektrische Energie über Steuergeräte zugeführt bekommen und die mit Rückmeldeeinrichtungen an die Steuerzentrale ihre momentane Lage melden können. Ein einfaches Stellglied mit einem Gleichstrommotor mit permanentmagnetischem Feld zeigt Bild 14.1. Die aufzuwendende Steuer-

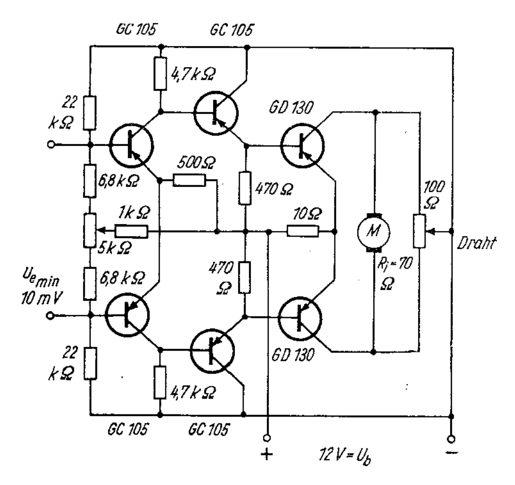


Bild 14.1. Elektroniksteuerung für Nachlaufmotor (Stellglied)

leistung für den Motor hat einen geringen Wert (10 mV an 2 kΩ = $5 \cdot 10^{-8}$ W), der vorgeschaltete Gleichstromverstärker ist im Gegentakt mit drei Stufen ausgeführt. Die Gegentaktschaltung wurde angewendet, damit die Drehrichtung des Motors umgekehrt werden kann. Die Eingangssteuerspannung muß dann allerdings auch symmetrisch gegen Null sein. Da man derartige Stellmotoren meist in Brückenschaltungen als Nullautomatik einbaut, stört die Symmetrieforderung nicht weiter. Bei Wechselstromansteuerung schaltet man einem mittelangezapften Transformator einen geeignet bemessenen Gleichrichterkreis nach. Die erste Verstärkerstufe in jedem Zweig ist eine Emitterstufe, dann folgt je eine Kollektorstufe zur Anpassung an den niederohmigen Endtransistor, der wieder in Emitterschaltung arbeitet. Die Kollektorverlustleistung der Endstufentransistoren muß so groß sein, daß der maximale Motorankerstrom bei maximaler Betriebsspannung ohne Schaden gezogen werden kann. Bei der vorliegenden Bemessung läßt sich ein maximaler Ankerstrom von 0,5 A verarbeiten. Die Nachteile dieses Verstärkers sind Temperaturabhängigkeit der Verstärkung, große Nullpegelbreite (Spannungswert, ehe der Motor überhaupt anläuft) und begrenzte Überlastungsfähigkeit. Wenn diese Eigenschaften bei der Anwendung stören, so muß man einen Wechselspannungsverstärker mit Ferrarismotor benutzen. Dabei vergrößert sich aber der elektrische Aufwand; die Beschreibung würde den Rahmen dieser Broschüre übersteigen. Die Schaltung hat keine Besonderheiten. Für eine bessere Stabilität sollte man für die niederohmigen Widerstandswerte drahtgewickelte Widerstände verwenden. Der Aufbau des Verstärkers ist unkritisch, zur Stromversorgung kann eine Batterie oder ein mit Zenerdiode geregelter Niederspannungsnetzteil benutzt werden.

15. Schaltung zur Auswertung einer doppelt modulierten NF-Spannung

Wie man durch Messungen festgestellt hat, erfolgt die Reizleitung im Nervensystem durch elektrische Impulse, die übertragen werden. Für jeden Reiz sind die Größen „Amplitude" und „Frequenz" zu übertragen. Ähnliche Forderungen an übertragende Medien findet man in der Fernsteuertechnik. In diesem Fall ist es wünschenswert, mit möglichst wenig Übertragungskanälen ein Maximum an Information zu übertragen. Benutzt man als Informationsträger eine niederfrequente Rechteckspannung – wie sie z. B. ein Transistormultivibrator abgibt –, dann kann man bei dieser zwei Größen beeinflussen: das Tastverhältnis und die Impulsfolgefrequenz. Im einfachsten Fall einer einkanaligen Übertragung ergibt sich folgendes: Es wird eine Mäanderspannung von beispielsweise 200 Hz Folgefrequenz erzeugt. Diese hat das Tastverhältnis 1 : 1. Durch geeignete Auslegung des Multivibrators kann man erreichen, daß bei konstanter Frequenz das Tastverhältnis von 10 : 1 bis 1 : 10 regelbar ist. Aus der Mäanderspannung wird eine Impulsfolge, bei der die Impulsperiode 5 ms, die Impulsdauer dagegen 500 μs beträgt. Der Übergang von 10 : 1 auf 1 : 10 entspricht einer Phasenänderung um 180 Grad; die vorherige Pause wird jetzt der Stromimpuls und umgekehrt. Bisher wurde immer vorausgesetzt, daß die Impulsfolgefrequenz konstant bleibt. Am Tastverhältnis ändert sich aber nichts, wenn man Impulsperiode und Impulsdauer im gleichen Maßstab verkleinert oder vergrößert. So kann man also die Impulsfolgefrequenz als zweiten Parameter übertragen, und beide Kanäle beeinflussen sich nicht gegenseitig. Mit Hilfe dieser Schaltung lassen sich zwei kontinuierliche Befehle übertragen (und durch Ein- und Ausschalten der Modulation noch ein einfaches drittes Kommando), beispielsweise bei einem Automodell Seitensteuerung und Geschwindigkeit des Modells. Durch Austasten der Modulation kann man

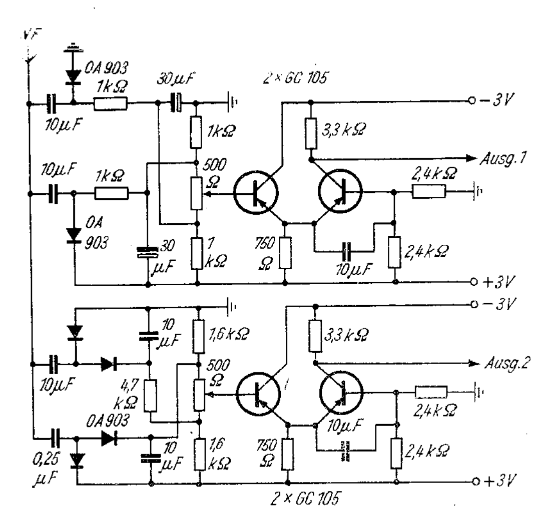


Bild 15.1. Schaltung für die Auswertung doppelt modulierter NF-Spannung (Impulsfrequenz = Kanal 2, Tastverhältnis des Mäanders = Kanal 1)

dann noch von Vorwärts- auf Rückwärtsfahrt umschalten. (Das Beispiel ist nur auf Grund der Analogie zur Reizleitung im Nervensystem angeführt worden, nicht aber als Fernsteuerbauanleitung!) Wie trennt man nun empfangsseitig die beiden gemeinsam übertragenen Informationen wieder voneinander? Das geschieht mit der Schaltung nach Bild 15.1, die aus zwei speziellen Gleichrichterschaltungen mit nachgesetzten Differenzverstärkern besteht. Der obere Gleichrichterkreis spricht auf das unterschiedliche Tastverhältnis wie folgt an: Die beiden durch Siliziumdioden gleichgerichteten Spannungen sind gegeneinandergeschaltet und im Fall des Mäanders (Tastverhältnis 1 : 1) gleich groß. Die Basis des linken Transistors des Differenzverstärkers befindet sich auf ihrem Ruhepotential. Je nachdem, ob das Tastverhältnis nun 1 : 10 oder 10 : 1 ist, gibt der obere oder untere Gleichrichter eine größere Spannung ab, und die Basis des Transistors wird entsprechend mitgesteuert. Am

Ausgang 1 liegt dann eine Gleichspannung, deren Wert eindeutig vom Tastverhältnis abhängt. Da beide Gleichrichterzweige völlig identisch aufgebaut sind, hat die Folgefrequenz der Impulse keinen Einfluß auf die Spannung, und man kann also das Kommando „Tastverhältnis" herausholen. Der zweite Gleichrichterzweig spricht nun auf die Impulsfolgefrequenz und nicht auf das Tastverhältnis an. Die Koppelkondensatoren der beiden „Diodenpumpen" haben unterschiedliche Werte, so daß der untere Zweig bei höheren Impulsfolgefrequenzen eine höhere Ausgangsspannung abgibt. Beide Spannungen sind wieder gegeneinandergeschaltet, und der Differenzverstärker wird in gleicher Weise wie oben angesteuert. Da es sich bei der unteren Gleichrichterschaltung um eine Spitzenspannungsgleichrichtung für Impulse handelt, bei der die Impulsdauer keine Rolle spielt, so hat auch das Tastverhältnis keinen Einfluß, allerdings aber die Folgefrequenz. An jeden Ausgang kann man nun ein Stellglied anschalten und damit die vom Sender kommenden Steuerbefehle ausführen. Der Aufwand für diese Übertragungsart ist im Verhältnis nicht zu hoch.

16. Beispiele für Lehrmaschinen

Der Begriff „programmiertes Lernen" ist populär geworden. Beim programmierten Lernen wird im Lehr- und Lernprozeß die Wechselwirkung Lehrer – Schüler durch eine Wechselwirkung Schüler – kybernetischer Automat ersetzt. Der kybernetische Automat zeigt dabei selbständig nicht nur das richtige Ergebnis der Lernbemühungen an, sondern es werden außerdem auch hochqualifizierte Fachkräfte eingespart. Eine zukünftige Diplomprüfung kann zwischen Kandidat und Rechenmaschine erfolgen. Aber bereits zum Erlernen bestimmter Sachverhalte eignen sich kybernetische Automaten. Jeder von uns kennt noch die elektrischen Frage-und-Antwort-Spiele, die mit Lochkarten und beweglichen Kontakten arbeiteten. In diesem Fall handelt es sich um die einfachste Form der einfachen logischen Zuordnung. Bei richtiger Beantwortung der Frage leuchtete eine Lampe auf. Beispielsweise mußten Bilder und Unterschriften koordiniert werden, indem man den einen Pol auf das Bild, den anderen auf die Unterschrift setzte. Bei richtiger Zuordnung leuchtete die Lampe. In neuerer Zeit sind beispielsweise programmgesteuerte Projektoren bekannt geworden, bei denen Lehrbilder mit zu beantwortenden Fragen gekoppelt sind. Die Antwort gibt man mit Zifferntasten ein, und bei richtiger Antwort wird das nächste Bild freigegeben. Hat der Lernende die Aufgabe falsch gelöst, kann der Automat ebenfalls programmierte Hilfsfragen stellen. Die Technik der Lehrmaschinen hat heute bereits einen hohen Stand; sowohl die USA als auch die SU setzen solche Maschinen für den Ausbildungsprozeß ein, und auch in der DDR sind erste Anwendungen bekannt geworden.
Je nach den Eigenschaften der einzelnen unter dem Sammelbegriff Lehrmaschinen bekannt gewordenen Einrichtungen unterscheidet man zur Zeit nachstehend aufgeführte Typen:

Lektortyp:	Geräte zur Stoffvermittlung
Repetitortyp:	Geräte zur Wiederholung des Unterrichtsstoffs und zur Festigung des Wissens
Examinatortyp:	Überprüfung des Wissens
Trainertyp:	Übungsgeräte
Kommunikationstyp:	Hilfsgerät zur Steuerung des Unterrichtsprozesses im Klassenverband

Nach Meinung einiger auf diesem Gebiet tätiger Wissenschaftler verdienen nur Maschinen des Lektortyps die Bezeichnung Lehrmaschine. Nur die Lektorgeräte eignen sich für eine individuelle programmierte Stoffvermittlung. Für viele Zwecke sind ohne Zweifel einfache Geräte, die sich mit geringem technischem und finanziellem Aufwand verwirklichen lassen, eine wertvolle Hilfe.

Für die Ausbildung in der Gesellschaft für Sport und Tech-

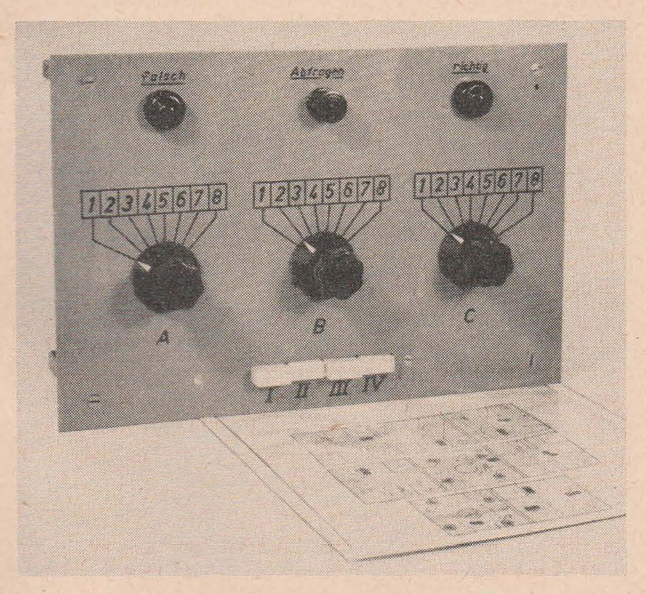


Bild 16.1. Frontplatte der einfachen Lehrmaschine

nik wurde eine einfache Lehrmaschine empfohlen, die dem Lektor- und Examinatortyp zugeordnet werden kann.
Bild 16.1 zeigt die Frontplatte dieses einfachen Geräts. Auf diesem Bild sind drei Schalterknöpfe mit den Bezeichnungen A, B und C zu erkennen. Jeder dieser Knöpfe schaltet einen

Vorfahrt **Motorsport**

Stellung des Programmschalters für den gesamten Text:

I	II	III	IV

Schalter A: Nummer des entsprechenden Bildes einstellen.

Schalter B: Die Ziffer des zuerst fahrenden Fahrzeuges lt. Bild einstellen.

Schalter C: Die Ziffer des an 2. Stelle fahrenden Fahrzeuges lt. Bild einstellen.

Abfragen: Nach Einstellen aller 3 Schalter (A, B, C) Abfragetaste drücken. Bei richtiger Lösung leuchtet grünes Signal auf. Wurde falsch eingestellt, leuchtet rotes Signal auf.

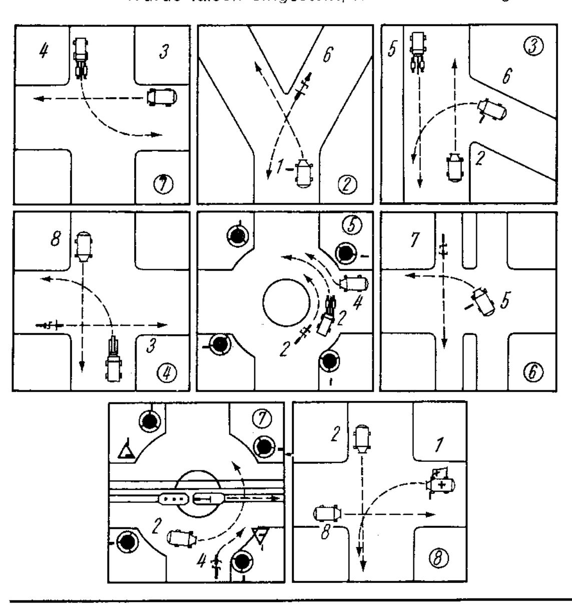
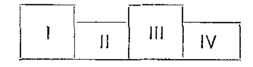


Bild 16.2. Programm Motorsport

Mehrkampfmeisterschaften, Vormilitärische Ausbildung

Stellung des Programmschalters für den gesamten Test:



Einstellen der Antworten:

Zu jeder Frage sind 3 Antworten gegeben, von denen nur eine Antwort richtig ist. Die Zahlen der vermutlich richtigen Antwort sind mit den 3 Schaltern (A, B, C) entsprechend einzustellen.

Beispiel: Hat die richtige Antwort die Kodierung A 1 — B 3 — C 7, ist mit Schalter A die Ziffer 1, mit Schalter B die Ziffer 3 und mit Schalter C die Ziffer 7 einzustellen.

Abfragen: Nach Einstellen aller 3 Schalter (A, B, C) Abfragetaste drücken. Bei richtiger Lösung leuchtet grünes Signal auf. Wurde falsch eingestellt, leuchtet rotes Signal auf.

Fragen:	Antworten mit einzustellender Kodierung:	
In wieviel Klassen werden die Deutschen Sommer- und Wintermeisterschaften im Militärischen Mehrwettkampf ausgetragen?	3 Klassen	= A 1 — B 2 — C 1
	5 Klassen	= A 1 — B 1 — C 4
	6 Klassen	= A 1 — B 3 — C 2
Wieviel Disziplinen enthält der Militärische Sommermehrwettkampf?	5 Disziplinen	= A 2 — B 5 — C 5
	7 Disziplinen	= A 2 — B 6 — C 6
	9 Disziplinen	= A 2 — B 4 — C 4
Wieviel Mannschaften können bei voller Besetzung in jeder Klasse beim Militärischen Sommermehrkampf starten?	13 Mannsch.	= A 3 — B 7 — C 8
	16 Mannsch.	= A 3 — B 4 — C 2
	17 Mannsch.	= A 3 — B 5 — C 1
Wieviel Treffer kann eine Mannschaft beim Schießen erreichen?	12 Treffer	= A 4 — B 8 — C 2
	15 Treffer	= A 4 — B 2 — C 8
	18 Treffer	= A 4 — B 4 — C 4
Welche Bezirksmannschaft wurde bei den Deutschen Meisterschaften im Militärischen Mehrkampf (Winter) 1965 in der Klasse Frauen Deutscher Meister?	Gera	= A 5 — B 7 — C 7
	Dresden	= A 5 — B 4 — C 4
	Leipzig	= A 5 — B 3 — C 3
Wo wurden die Deutschen Meisterschaften im Militärischen Mehrkampf (Winter) 1965 durchgeführt?	Steinheil	= A 6 — B 2 — C 7
	Marienberg	= A 6 — B 7 — C 8
Wieviel Klassen gibt es beim DDR-Ausscheid der Landjugend?	3 Klassen	= A 8 — B 4 — C 7
	4 Klassen	= A 8 — B 3 — C 4
	5 Klassen	= A 8 — B 7 — C 1

Bild 16.3. Programm vormilitärische Ausbildung

Schalter mit 1×8 (bzw. 2×8) Kontakten. Die Schalterstellungen sind von 1 bis 8 gekennzeichnet. Oberhalb der Schalterknöpfe sind zwei farbige Kontrollampen und zwischen diesen Lampen ein Abfrage-Druckknopfkontakt eingebaut. Die Arbeit mit dieser Lehrmaschine, die mit „Test 1" bezeichnet wurde, sollen die Beispiele von zwei einfachen Fragekomplexen (Motorsport und vormilitärische Ausbildung) verdeutlichen (Bild 16.2 und Bild 16.3).
Bild 16.4 zeigt die Grundschaltung dieser einfachen Lehrmaschine. Damit das System nicht durch zu große Kontakt-

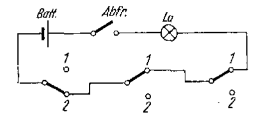


Bild 16.4.
Prinzipschaltung der einfachen Lehrmaschine

zahl unübersichtlich wird, sind für jeden Schalter nur zwei Stellungen eingezeichnet. Wenn die im Schaltbild gezeigte Schalterstellung eingestellt wurde, dann leuchtet nach Drükken des Abfragetasters die Kontrollampe auf. Denkt man sich das Schaltbild auf jeweils acht Kontaktstellen je Schalter erweitert, so hätten wir bereits das vollständige Schaltsystem zur Beantwortung des Fragenkomplexes im Motorsport. Dieses einfache Programm hat aber den Nachteil, daß für alle Fragen eines beliebigen Komplexes die gleichen Schalterstellungen, die zur Aussage „richtig" führen, wiederum zueinander gehören. Das würde, nachdem man einige Zeit mit dem Gerät gearbeitet hat, leicht zu merken

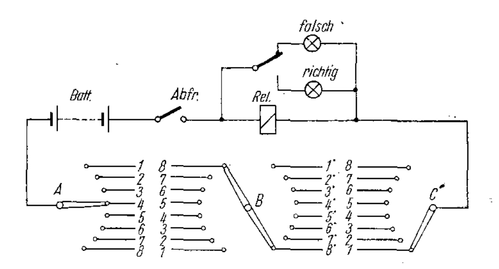


Bild 16.5. Gesamtschaltung der einfachen Lehrmaschine

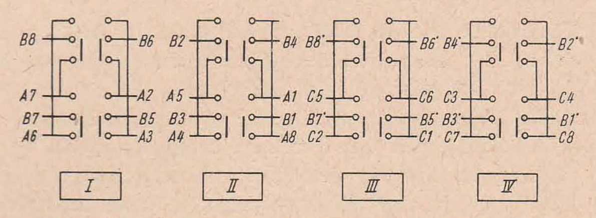


Bild 16.6. Bezeichnung der Anschlüsse des Tastenschalters

sein, und der Zweck des Geräts wäre verfehlt. Um einen ständigen Wechsel der zu einer richtigen Aussage gehörenden Schalterstellungen zu erreichen, wurde zusätzlich ein Drucktastenschalter eingebaut. In Bild 16.5 ist die komplette Schaltung des Geräts dargestellt. Die Ziffern der Schalter A, B und C zeigen die einzelnen Schalterstellungen, sind aber gleichzeitig die Bezeichnung für die Anschlüsse am

Bild 16.7. Blick auf die Verdrahtung der einfachen Lehrmaschine

Tastenschalter nach Bild 16.6. Das Relais (Bild 16.5) schaltet auf die entsprechenden Glühlampen für die Aussagen „falsch“ (Rot) oder „richtig“ (Grün) um.
Bild 16.8 zeigt die 16 möglichen Schalterstellungen. Für jede Stellung sind acht richtige Aussagen möglich, bei 504 falschen Aussagen. In der Regel wird man sich aber auf jeweils drei bis fünf Wahlantworten je Frage beschränken, von denen eine richtig ist. Mit Schalter A stellt man in den meisten Fällen Frage oder Bildnummer ein. Insgesamt bietet die Anlage $8 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 16 = 8192$ Einstellvarianten, von denen $8 \cdot 16 = 128$ zur Aussage „richtig“ führen. Mit Hilfe des Tastenschalters wird nahezu verhindert, daß man sich die „Richtig“-Schalterstellungen merkt. Für den Unterrichtenden (Lehrer) ist es ratsam, ein Zuordnungsschema für jede der 16 Tastenschalterstellungen zu erarbeiten, das die $16 \cdot 8$ richtigen Antworten enthält. Mit Hilfe dieses Schemas sind die für die einzelnen Unterrichtsthemen gültigen Wahlfragen sehr schnell zusammengestellt.
Die beschriebene Maschine kann man noch erweitern. Schaltet man z. B. den Glühlampen Zählwerke (Fernsprechgesprächszähler) parallel, so können die falschen und richtigen Lösungen getrennt gezählt werden. Statt Schalter A lassen sich Schrittschaltwerke mit Taktgeber einbauen, damit man fest vorgegebene Mindestzeiten für die einzelnen

Taste nicht gedrückt — Taste gedrückt

Bild 16.8. Die 16 möglichen Schalterstellungen

Antworten erhält. Auch eine Kopplung mit einem automatischen Diaprojektor für die Projektion der folgenden Frage nach Drücken der Abfragetaste ist möglich.
In Bild 16.9 ist ein weiteres kybernetisches Gerät zur Wissenskontrolle dargestellt, das durch Eingabe von Ziffern die Antworten auf programmierte Fragen überprüft. Das Gerät verkürzt die Prüfzeit und kann für naturwissenschaftliche sowie technische Fächer in Praktika oder Seminare eingesetzt werden. Die Grundbausteine des Kontrollgeräts sind der Relaisentschlüßler mit 60 Ziffernausgängen, die zehn Relais für die Antwortfixierung und der Antwortindikator mit zehn Glühlämpchen. Die Programmierung des Geräts erfolgt durch geeignetes Stecken der zehn Relaisspulendrähte in die 60 Buchsen des Programmierfeldes. An Hand der Programmkarte gibt der Student die Antwort durch geeignete Betätigung der Kippschalter 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 32 und Drücken des Knopfes „Antwort" ein. Bei Wahl der richtigen Ziffer zieht das entsprechende Antwortfixierrelais an, und die Glühlampe leuchtet auf. Damit der Student nicht durch Probieren die richtige Schalterstellung finden kann, ist der Antwortindikator als steckbare Baugruppe ausgeführt, die man nur bei der Kontrolle in das Gerät einsteckt. Wenn das Ergebnis überprüft wurde, dann löscht man den eingespeicherten Wert. Das Gerät ist damit für die nächste Antwort aufnahmebereit. Es können auch zehn Antworten eingespeichert werden, die man danach auf Richtigkeit kontrolliert. Bei jeder Antwortziffer wird der Druckknopf „Antwort" gedrückt. Eine Komplexprüfung sieht dann also so aus: Der Prüfling erhält zehn Programmkarten mit Fragen und je drei vorgedruckten Antworten. Hinter jeder Antwort steht eine Ziffer. Die von ihm für richtig gehaltene Antwort wird zahlenmäßig in die Maschine eingegeben. Stimmt die Ziffer mit der im Programmierfeld gesteckten überein, dann erhält das entsprechende Antwortfixierrelais Spannung und hält sich über seinen einen Arbeitskontakt selbst. Mit dem anderen Arbeitskontakt wird das Potential + 24 V an die Lämpchen des Antwortindikators gelegt. Mit der Ruhestromtaste „Löschen" können nach Kontrolle die zehn Fi-

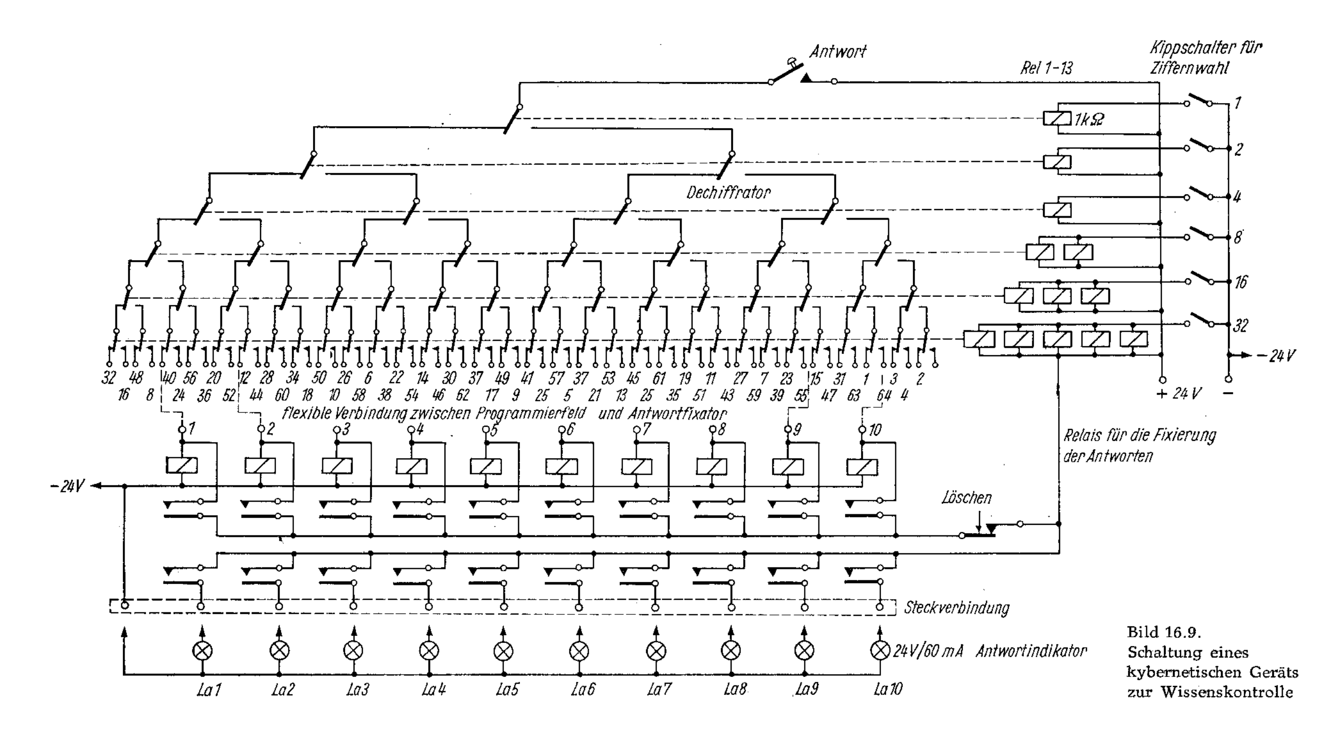


Bild 16.9.
Schaltung eines kybernetischen Geräts zur Wissenskontrolle

xierrelais wieder in Ruhestellung gebracht werden. Je nach Leistung des Prüflings sind nach Beantwortung der Fragen alle oder einige Antwortfixierrelais angezogen. Wenn der Prüfer das Lampenkästchen ins Gerät einsteckt, so kann er durch die Anzahl der Lampen die „Zensur" ermitteln. Da die Reihenfolge der Lämpchen der Reihenfolge der Fragekarten entspricht, lassen sich damit auch die „Wissenslücken" mit einem Blick feststellen. Für eine Klasse von vielen Prüflingen erhält jeder ein solches Gerät mit den Fragekarten; die Stromversorgung aller Geräte erfolgt gemeinsam aus dem Lichtnetz, und es genügt ein Antwortindikator beim Prüfer. Die 23 Relais benötigen einen Gesamtstrom von etwa 0,5 A. Batteriespeisung ist ebenfalls möglich. Um die Antwortzahl zu ermitteln, können die Fragekarten für den Automaten nach vier Gesichtspunkten aufgestellt werden:

– Die Antwortzahl ist auf der Karte nicht vorhanden. Der Prüfling muß sie entweder aus dem Gedächtnis wissen oder sie errechnen.

– Auf der Karte sind mehrere Antworten mit verschiedenen Zahlen vermerkt, von denen eine richtig ist. Diese muß eingegeben werden.

– Die einzugebende Antwortzahl setzt sich aus einer Summe von Ziffern zusammen, die bei den einzelnen Antworten stehen und die der Prüfling geeignet summieren muß.

– Die Antwortziffern entsprechen einer strengen Reihenfolge.

Jede einzelne auf der Karte beschriebene Operation führt zu einer Ziffer, die man mit der laufenden Nummer multiplizieren muß. Die Produkte müssen dann summiert und so die Antwortzahl gebildet werden. Ergeben sich z. B. die Ziffern in der Reihenfolge 5, 2, 6, 4, dann ist die Antwortzahl so zu bilden: $1 \cdot 5 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 6 + 4 \cdot 4 = 43$. Diese Zahl ist mittels der Kippschalter und des Druckknopfes einzugeben.

Es bieten sich also genügend Programmiermöglichkeiten für diese Maschine, so daß man sie universell einsetzen kann. Wenn die Antwortzahl größer als 63 wird, muß entweder ein Maßstabsfaktor oder ein geeigneter Subtrahend auf der

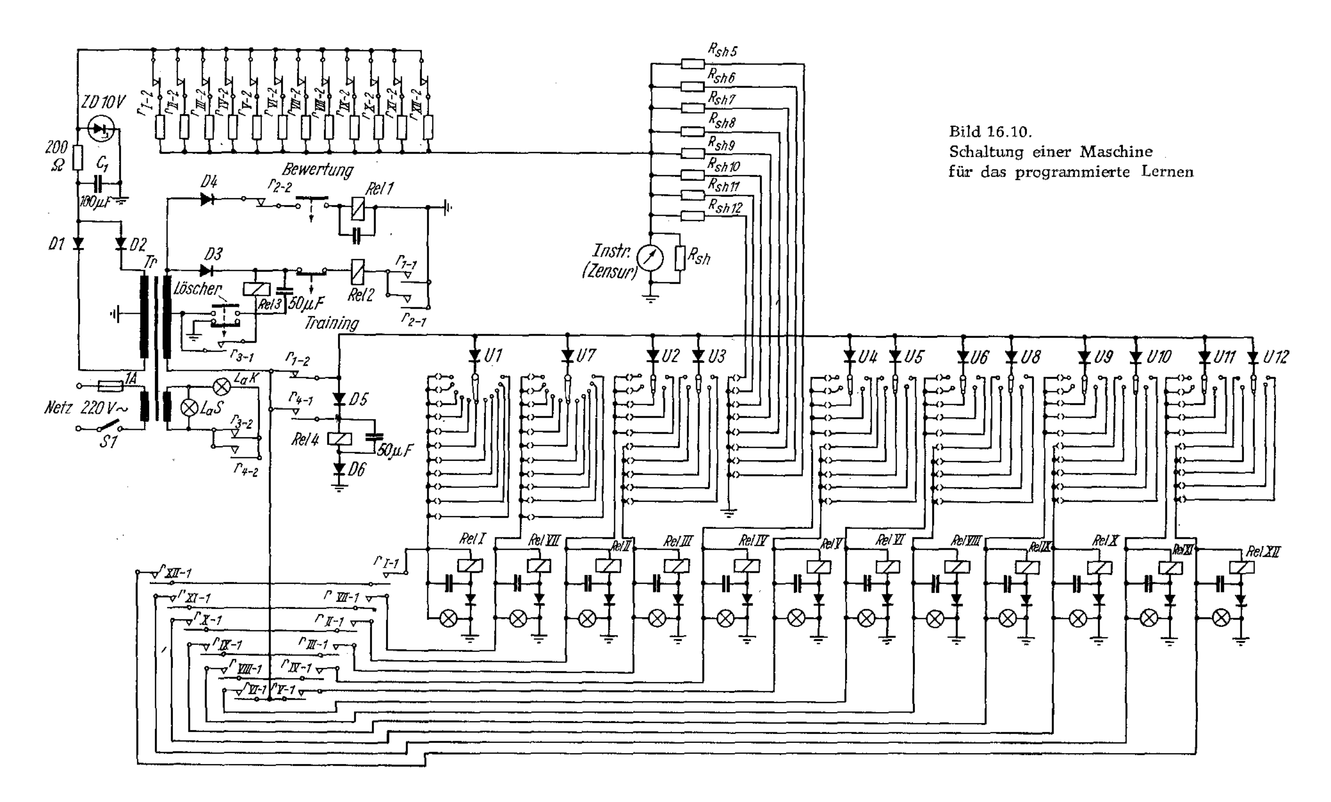


Bild 16.10.
Schaltung einer Maschine
für das programmierte Lernen

Karte angegeben werden (z. B. Endzahl mal $^1/_3$ oder Endzahl minus 20 usw.). Die beschriebene Kontrollmaschine mit geringem technischem Aufwand ist 1963 in der Sowjetunion von dem Ingenieur Serebrjanski vorgeschlagen worden. Verwendet man Kleinrelais GBR 301 von Großbreitenbach und 3-mm-Kleinstecker (Modelleisenbahn) für das Programmierfeld, dann kann das ganze Gerät in der Größe einer Zigarrenkiste aufgebaut werden (ohne Antwortindikator und Netzteil).
Eine ebenfalls in der Sowjetunion entwickelte Maschine für programmiertes Lernen zeigt Bild 16.10. Das Gerät ist bestimmt für die Bearbeitung von Lehrmaterial sowie zur Kontrolle und Selbstkontrolle beim individuellen programmierten Lernen. Bei diesem Gerät gibt es zwei Formen der Arbeitsweise: Training und Bewertung. Die Wissenskontrolle erfolgt in der Betriebsart „Bewertung", indem dem Studierenden vier bis zwölf Fragen auf einer speziellen Karte gestellt werden. Jede Frage ist auf der Karte mit einer römischen Ziffer gekennzeichnet. Hinter jeder Frage stehen zwei bis fünf Antworten (mit arabischen Ziffern gekennzeichnet), von denen eine oder zwei richtig sind. Auf der Frontplatte des Geräts befinden sich zwölf Umschalter, die jeweils den gegebenen Fragen entsprechen. Die Stellung des jeweiligen Drehschalters ist der auf der Fragekarte angegebenen arabischen Ziffer analog. Jeder Kontrollfragekarte entspricht eine Programmierkarte mit kodierten Löchern (ähnlich den Prüfkarten eines modernen Röhrenprüfgeräts). Zum Betrieb des Geräts legt man die mit Löchern versehene Programmierkarte auf das Programmierbuchsenfeld und steckt in die Öffnungen Kontaktstecker. Dann werden die Schalter in die zugehörigen Stellungen gebracht, die der richtigen Antwort entsprechen. Danach drückt man den Knopf „Bewertung". Ein Zeigermeßgerät gibt dann die gesamte differenzierte Bewertung in einem Viernotensystem (2, 3, 4 oder 5) wieder. Gleichzeitig leuchten Lämpchen auf, die anzeigen, auf welche Fragen richtige Antworten gegeben wurden. Die Lämpchen sind hinter Mattglasscheiben mit den römischen Ziffern I bis XII angeordnet, so daß der

Prüfling sofort die falsch beantworteten Fragen erkennt. Das Gerät fixiert das Resultat. Nach dem Drücken des Knopfes „Bewertung" ändert ein Drehen an den Umschaltern das bewertete Antwortergebnis nicht. Das angezeigte Ergebnis kann man durch Einstecken eines speziellen Schlüssels löschen. Mit der Löschung kann dann eine neue Fragekarte ausgegeben werden usw. Das Gerät ermöglicht die Programmierung von etwa 1200 Lehrprogrammen. Die Bearbeitung des Materials erfolgt in der Betriebsart „Training". In diesem Fall kann man durch Drehen der Schalter und Beobachten der Glühlämpchen die richtige Antwort festlegen. Des weiteren ist es auch möglich, die Resultate bei der Ausarbeitung neuer Fragekarten vorzugeben und die Lage der Stecker im Programmierfeld zu ermitteln. Das Gerät verwendet 16 Relais, 12 Schalter und einen eingebauten Netzteil für die Speisung aller Kreise. Die Größen der Bewertungswiderstände müssen experimentell festgelegt werden. Auch hier eignen sich wieder Kleinrelais für den Geräteaufbau. D 1 und D 2 bilden den Gleichrichter für das Zensuren-Anzeigeinstrument, es wird eine gut geglättete Gleichspannung von etwa 10 V als Ausgangsspannung benutzt. Die Spannung der übrigen Gleichrichter richtet sich nach der verwendeten Relaistype, 6, 12 oder 24 V. Das Programmierfeld muß so aufgebaut werden, daß der Stecker leicht konisch ausgeführt wird und sich zwei Kontaktklemmen mit Mittelloch durch Einstecken elektrisch verbinden lassen. Eine ähnliche Technik wendet man schon seit Jahren bei den Lochkarten-Röhrenprüfgeräten an.
Die Technik der Lehrmaschinen ist noch jung. Es wurden bereits kompliziertere Maschinen – z. B. mit programmgesteuertem Diaprojektor oder mit Magnetbandspeicher – aufgebaut und mit Erfolg angewendet. In Zukunft werden derartige kybernetische Maschinen in der Pädagogik eine große Rolle spielen und uns allen helfen, das immer umfangreicher werdende Wissen der Menschheit dem einzelnen möglichst ökonomisch zu vermitteln. Um die Materie der Lehr- und Lernautomaten besser zu verstehen, ist das Basteln auf diesem Gebiet eine unbedingte Voraussetzung.

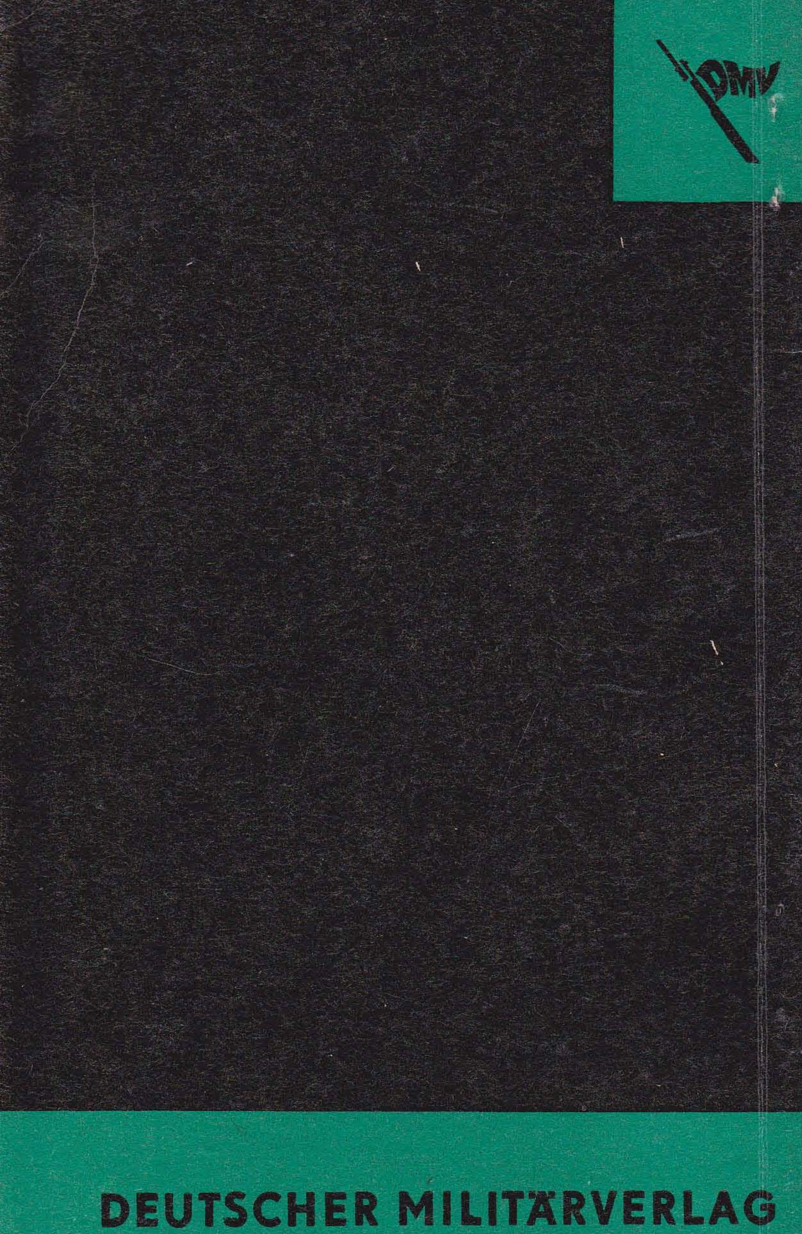
Nachwort

Alle beschriebenen kybernetischen Geräte und Modelle sind nicht Selbstzweck, sondern Mittel zum Zweck. Einmal studieren wir das komplizierte Verhalten lebender Organismen, indem wir ihre elementaren Verhaltensweisen nachbilden. Zum anderen deckt man Analogien zwischen bisher fremden Disziplinen der Wissenschaft und der Technik auf und nutzt sie für eine allgemeinere Anwendung. Aus den Reaktionen der „Modelle" auf Störgrößen kann man Rückschlüsse auf Lernprozesse, Adaptionen (Anpassungen an Umweltbedingungen) und Reaktionen ziehen. Es besteht hier erstmals eine enge Wechselwirkung zwischen Biologie, Physiologie einerseits sowie Regelungstechnik und Elektronik andererseits. Wir sind heute zwar noch weit davon entfernt, das menschliche Gehirn technisch nachbilden zu können, aber mittels kybernetischer Maschinen – Rechenmaschinen, Regelautomaten für komplizierte Produktionssysteme, Automaten für die Weltraumfahrt usw. – können wir heute dem Menschen ein großes Maß an geistiger Routinearbeit abnehmen und ihm damit mehr Zeit für die wissenschaftliche Forschungsarbeit geben. Es gibt heute lernende Automaten, Übersetzungsmaschinen für Fremdsprachen, elektronische Wissensspeicher und Rechenmaschinen für automatische Konstruktion von Maschinen o. ä. In unserer Zeit – dem Jahrhundert des Weltraumflugs und der Automatisierung – kommt keiner mehr ohne elementare Kenntnisse auf dem Gebiet der Kybernetik aus. Am einfachsten erarbeitet man sich diese Kenntnisse durch zielbewußtes Basteln, durch Selbstbeschäftigung mit der Sache. Die vorliegende Broschüre faßt Erfahrungen zusammen, die in der DDR und im Ausland gesammelt wurden, sie stellt sie systematisch dar und bietet somit eine Einführung in dieses neue, immer stärker in den Mittelpunkt des Interesses tretende Gebiet. Wer einmal ein solches kybernetisches Modell

– sei es nun das einfachste oder ein anspruchsvolleres – aufbauen wird und damit spielend lernt, dem fällt später das Studium dieser Gesetzmäßigkeiten leichter. Vor allem unsere Jugend sollte heute die ihr gebotenen Möglichkeiten nutzen und in Zirkeln und Gruppen wertvolle Erfahrungen sammeln. Doch auch der individuelle Bastler dient mit seinem Hobby nicht nur seiner eigenen Qualifizierung, sondern das Hobby jedes einzelnen kommt unserem Staate und damit der technischen Revolution im Sozialismus zugute.

Literaturhinweise

[1] R. Oettel: Kybernetisches Fahrmodell (Schildkröte). In: „funkamateur", Hefte 8–10 (1964)
[2] R. Oettel: Schildkrötenreflex und kybernetische Katze. In: „funkamateur", Heft 12 (1964)
[3] F. Knutzen: Selbstbau eines Demonstrationsmodells zur Kybernetik. In: „Elektronik", Heft 1 (1965), S. 6–8
[4] A. H. Bruinsma: Practical Robot Circuits (Electronic sensory organs in nerve systems), Philips technische Bücherei, Eindhoven 1959
[5] K. Steinbuch: Automat und Mensch (Kybernetische Tatsachen und Hypothesen), Springer-Verlag, Berlin 1963
[6] E. Eichler: Die künstliche Schildkröte. In: „Radiotechnik" (Österr.), Bd. 31 (1955), S. 516
[7] R. Eier, H. Zemanek: Automatische Orientierung im Labyrinth. In: „Elektron. Rechenanlagen", Bd. 2 (1960), Heft 1, S. 23–31
[8] Ju. S. Stoljarow: Automatik und Telemechanik in den Zirkeln junger Techniker, Verlag der DOSAAF, Moskau 1962 (russ.)
[9] R. Wassiljew, A. M. Petrowski: Automatische Schildkröte. In: „Radio" (Moskau), Heft 3 (1958), S. 48–51 (russ.)
[10] J. M. Wolinski: Automatische Schildkröte. In: „Schule und Produktion" (Moskau), Heft 11 (1960), S. 76–80 (russ.)
[11] A. G. Iwachnenko: Technische Kybernetik, 2. Aufl., Technischer Staatsverlag der Ukraine, Kiew 1962 (russ.)
[12] J. Radunskaja: Kybernetik und Leben. In: „Ogonjok" (Moskau), Heft 29 (1957)
[13] K. Schlenzig: Bausteintechnik für den Amateur. In: Der praktische Funkamateur, Band 41 (1964)
[14] K. Poletajew: Kybernetik, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1962



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG